

Recd. 01 JUN 2005
PCT/JPO 11625

10/537179
PCT/JP2004/011625

31.08.2004

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as received with this Office.

出願年月日
Date of Application: 2004年 7月 14日

21 OCT 2004

WIPO PCT

出願番号
Application Number: 特願 2004-207728
[ST. 10/C]: [JP 2004-207728]

出願人
Applicant(s): 日本電信電話株式会社

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年10月 8日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小川

洋

【書類名】 特許願
【整理番号】 NTTI165391
【提出日】 平成16年 7月14日
【あて先】 特許庁長官 殿
【国際特許分類】 G02B 6/20
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3番 1号 日本電信電話株式会社内
 【氏名】 圓佛 晃次
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3番 1号 日本電信電話株式会社内
 【氏名】 加藤 正夫
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3番 1号 日本電信電話株式会社内
 【氏名】 藤浦 和夫
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3番 1号 日本電信電話株式会社内
 【氏名】 森 淳
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3番 1号 日本電信電話株式会社内
 【氏名】 鹿野 弘二
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3番 1号 日本電信電話株式会社内
 【氏名】 清水 誠
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3番 1号 日本電信電話株式会社内
 【氏名】 栗原 隆
【特許出願人】
 【識別番号】 000004226
 【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社
【代理人】
 【識別番号】 100077481
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 谷 義一
【選任した代理人】
 【識別番号】 100088915
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 阿部 和夫
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 013424
 【納付金額】 16,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1
 【包括委任状番号】 9701393

【書類名】特許請求の範囲**【請求項1】**

テルライトガラスからなる光ファイバにおいて、コアとなる領域の周囲に複数の空孔を設けたクラッドを有し、前記コアの外径と、前記空孔の内径と、前記空孔の間隔とを調整することにより、零波長分散が $1.2 \mu\text{m} \sim 1.7 \mu\text{m}$ 帯に設定されたことを特徴とする光ファイバ。

【請求項2】

前記コアとなる領域の中心部に、前記テルライトガラスの屈折率と異なる屈折率を有するテルライトガラスが埋め込まれていることを特徴とする請求項1に記載の光ファイバ。

【請求項3】

前記コアとなる領域の中心部に、空孔が設けられていることを特徴とする請求項1に記載の光ファイバ。

【請求項4】

前記空孔の数が3個であり、前記コアとなる領域の直径が $0.7 \mu\text{m} \sim 1.0 \mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項1、2または3に記載の光ファイバ。

【請求項5】

前記空孔の数が4個であり、前記コアとなる領域の直径が $0.7 \mu\text{m} \sim 6 \mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項1、2または3に記載の光ファイバ。

【請求項6】

前記空孔の数が5個であり、前記コアとなる領域の直径が $0.4 \mu\text{m} \sim 5 \mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項1、2または3に記載の光ファイバ。

【請求項7】

前記空孔の数が6個であり、前記コアとなる領域の直径が $0.3 \mu\text{m} \sim 4 \mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項1、2または3に記載の光ファイバ。

【書類名】明細書

【発明の名称】光ファイバ

【技術分野】

【0001】

本発明は、光ファイバに関する、より詳細には、通信波長帯に零分散波長が制御されたテルライトガラス製の光ファイバに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、情報通信量の急速な増加に対応するため、光通信システムの大容量化の検討がなされている。従来、大容量化の手段として検討されてきた時分割多重伝送方式に加えて、波長分割多重（WDM）伝送方式の検討が、より精力的に行なわれている。WDM伝送方式は、変調方式の異なる信号を合波したり、新たな波長を用いてシステムの増設を行なうことができ、より柔軟な光通信システムを構築することができる。

【0003】

WDM伝送方式のネットワークを、さらに柔軟に拡張・高機能化するためには、波長変換素子、高速光スイッチ、スーパー・コンティニューム光源等の機能性光デバイスが、必要不可欠となる。これらの機能性光デバイスの開発において、光ファイバ中の非線形光学効果を利用した非線形光デバイスの検討が積極的に行なわれている。

【0004】

光ファイバ中の非線形光学効果の発生量は、非線形光学定数 γ に比例する。非線形光学定数 γ は、有効コア断面積 A_{eff} と非線形屈折率は n_2 との間に、

$$\gamma \propto n_2 / A_{eff}$$

の関係にある。従って、大きな非線形性を得るためにには、大きい非線形屈折率を有した光学材料を用い、かつ A_{eff} を小さくすることが必要となる。ここで、有効コア断面積 A_{eff} は、下式で与えられる（例えば、非特許文献1参照）。

【0005】

【数1】

$$A_{eff} = \frac{\left(\iint_{-\infty}^{\infty} |F(x, y)|^2 dx dy \right)^2}{\iint_{-\infty}^{\infty} |F(x, y)|^4 dx dy}$$

【0006】

現在報告されている石英ガラスを用いた非線形光ファイバの多くは、非線形性を高めるため、コアにゲルマニウム等を添加して石英ガラス自体の非線形屈折率を高めている。また、クラッドにフッ素を添加し、比屈折率差を高めることにより得られる有効コア断面積の狭面積化により、非線形性を高めている。さらに、光通信の波長帯域において、非線形効果を高効率に発生させるためには、位相整合条件を満足するように、光ファイバの零分散波長を $1.2 \mu m \sim 1.7 \mu m$ にしなければならない。

【0007】

石英ファイバの場合、材料分散の零分散波長はおよそ $1.2 \mu m$ であり、添加物によつて大きく分散をシフトさせることは難しい。そこで、光ファイバの構造パラメータを最適化することにより、 $1.55 \mu m$ 帯での波長分散値を零に近づけるという手法がとられている。

【0008】

一方、主として石英ガラスを用いて、意図的に空孔を導入したフォトニッククリスタルファイバ（以下、PCFという）、またはホーリファイバ（以下、HFという）と呼ばれる光ファイバが知られている。空孔を導入したファイバ構造を用いることにより、従来のコア・クラッド構造を有する光ファイバでは実現できない様々な特性を付与することができる。

き、非線形性の高い光ファイバへの応用が実現されている。

【0009】

【非特許文献1】Govind P. Agrawal, "Nonlinear Fiber Optics", 2nd edition, Academic Press, pp.42-43

【非特許文献2】A. Mori et al., "1.5 μm Broadband Amplification by Tellurite-Based EDFA", OFC97, PD1

【非特許文献3】A. Mori et al., "Broadband Amplification Characteristics of Tellurite-Based EDFA", ECOC 97, Vol. 3, pp.135-138

【非特許文献4】S. Kim T. Yoko and S. Sakka, "Linear and Nonlinear Optical Properties of TeO₂ Glass", J. Am. Ceram. Soc., Vol. 76, No. 10, pp. 2486-2490, 1993

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

しかしながら、零分散波長が1.2 μm～1.7 μmであり、かつ高い非線形性を有する石英系PCF, HFは実現されていない。また、石英ガラスは透明性に優れるものの、非線形性はさほど大きくなないので、相互作用長を長くとることが行われている。例えば、ファイバ長が数100mに及ぶ長尺の光ファイバを用いる場合があり、高効率かつコンパクトな非線形光デバイスの実現が待望されてきた。

【0011】

近年、光通信分野への応用を目的としたテルライトEDFA (Er Doped Fiber Amplifier) の開発が進められている。従来の石英系EDFA、フッ化物EDFAの波長帯域は、1.53 μmから1.56 μmである。テルライトEDFAを用いると、従来より2倍以上広い1.53 μmから1.61 μmまでの波長帯域において、一括增幅が可能となる（例えば、非特許文献2参照）。

【0012】

また、テルライトEDFAにおいて、長波長側の利得の得られる限界は、石英系EDFA、フッ化物EDFAに比べて7～9 nm広がっている。このため、従来利用できなかつた1.6 μm帯の波長における増幅器を実現することができる（例えば、非特許文献3参照）。従って、テルライトEDFAは、将来の超大容量WDM伝送システムにおけるEDFAとして注目されている。

【0013】

さらに、ラマン増幅器への応用の際には、損失が20 dB/kmの低損失ファイバを実現している。このようにテルライトガラスは、広帯域光増幅特性および高い透明性を有している。加えて、大きい光非線形感受率 χ^3 を有している（例えば、非特許文献4参照）。従って、これまでにないコンパクトで高効率な非線形デバイスが期待できる。

【0014】

上述したように、光通信波長帯で効率よく非線形効果を発生させるためには、位相整合条件を満たすように零分散波長を1.2 μm～1.7 μmにしなければならない。しかしながら、テルライトガラスは、大きい非線形性と低損失性を有しているものの、材料分散値が零となる波長が2 μmよりも長波長帯に位置する。従って、石英ファイバで行われているファイバ構造のパラメータを最適化することによって、1.55 μm帯における波長分散値を零に近づけることができないという問題があった。

【0015】

本発明は、このような問題に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、通信波長帯である1.2 μm～1.7 μmに零分散波長が制御された光ファイバを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0016】

本発明は、このような目的を達成するために、請求項1に記載の発明は、テルライトガ

ラスからなる光ファイバにおいて、コアとなる領域の周囲に複数の空孔を設けたクラッドを有し、前記コアの外径と、前記空孔の内径と、前記空孔の間隔とを調整することにより、零波長分散が $1.2 \mu\text{m} \sim 1.7 \mu\text{m}$ 帯に設定されたことを特徴とする。

【0017】

請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の前記コアとなる領域の中心部に、前記テルライトガラスの屈折率と異なる屈折率を有するテルライトガラスが埋め込まれていることを特徴とする。

【0018】

請求項3に記載の発明は、請求項1に記載の前記コアとなる領域の中心部に、空孔が設けられていることを特徴とする。

【0019】

請求項4に記載の発明は、請求項1、2または3に記載の光ファイバにおいて、前記空孔の数が3個であり、前記コアとなる領域の直径が $0.7 \mu\text{m} \sim 10 \mu\text{m}$ であることを特徴とする。

【0020】

請求項5に記載の発明は、請求項1、2または3に記載の光ファイバにおいて、前記空孔の数が4個であり、前記コアとなる領域の直径が $0.7 \mu\text{m} \sim 6 \mu\text{m}$ であることを特徴とする。

【0021】

請求項6に記載の発明は、請求項1、2または3に記載の光ファイバにおいて、前記空孔の数が5個であり、前記コアとなる領域の直径が $0.4 \mu\text{m} \sim 5 \mu\text{m}$ であることを特徴とする。

【0022】

請求項7に記載の発明は、請求項1、2または3に記載の光ファイバにおいて、前記空孔の数が6個であり、前記コアとなる領域の直径が $0.3 \mu\text{m} \sim 4 \mu\text{m}$ であることを特徴とする。

【発明の効果】

【0023】

以上説明したように、本発明によれば、テルライトガラス製光ファイバの中心近傍に複数の孔を配置して、ファイバの分散特性を制御するので、通信波長帯である $1.2 \mu\text{m} \sim 1.7 \mu\text{m}$ に零分散波長を制御することが可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0024】

以下、図面を参照しながら本発明の実施形態について詳細に説明する。本実施形態においては、テルライトガラス製光ファイバの中心近傍に複数の孔を配置して、孔に囲まれた領域の大きさにより、ファイバの分散特性を制御する。以下、いくつかの実施例を用いて説明するが、本発明は以下の実施例に限定されるものではない。

【実施例1】

【0025】

図1に、本発明の実施例1にかかる光ファイバを示す。ジャケット管104に挿入されたテルライトガラス101には、4つの空孔103a～103dが形成され、空孔103は空気で満たされており屈折率は1にほぼ等しい。4つの空孔103に囲まれた部分は、光が伝搬するコアとなる領域102である。テルライトガラス101の外径は $100 \mu\text{m}$ 、空孔103の内径が $40 \mu\text{m}$ であり、コア径は $4.5 \mu\text{m}$ である。断面積 A_{eff} は $4.1 \mu\text{m}^2$ であり、 γ 値は $590 \text{W}^{-1} \text{km}^{-1}$ である。

【0026】

図2に、実施例1にかかるフォトニッククリスタルファイバの作製方法を示す。テルライトガラス原料を溶融したガラス融液202を、 $300 \sim 400^\circ\text{C}$ に予加熱したモールド201に注入する(図2(a))。モールド201は、内壁の内側に凸となる部分が4つ形成され、注入されたガラス母材が十字型となるように形成されている。注入後 300°C

付近の温度で10時間以上アニールし、ガラス母材203を作製する（図2（b））。モールド201を4分割して、ガラス母材203を取り出しやすくし、ガラス母材203の欠け、クラックを防ぐことができる。同様にガラス原料を溶融し、300～400℃に予加熱した円筒状のモールドに流し込んだ後、モールドを水平に保持したまま高速回転させるローテーショナルキャスティング法により、円筒状のジャケット管204を作製する（図2（c））。

【0027】

ジャケット管204にガラス母材203を挿入して延伸する（図2（d））。延伸した母材205の断面は、正確に対称となる。延伸した母材205の線径の一定した部分206を切り出し、再びジャケット管に挿入して延伸する。ガラス母材203とジャケット管との隙間にエアホールが形成され、延伸・線引きを行う際に、エアホールの形成された部分208を加圧し、エアホールを維持又は拡大するように加圧線引きして、空孔を形成する。線引き張力を樹脂被服するダイスを通す前の値で50g以上になるように調整しながら、外径105μmに線引き加工して（図2（e））、光ファイバ207を作製する。

【0028】

延伸工程では、延伸加重が200g程度において、10～20mmφの母材を3～6mmφへ延伸できる粘度である $10^9 \sim 10^{10}$ P（ポアズ）となるように加熱する。一方、押し出し法により、バルクがラスからホール構造を持つ母材へと加工するためには、粘度として 10^6 P（ポアズ）程度に軟らかくする必要がある。従って、本実施例によれば、押し出し法と比較して、加熱する温度が低いので、結晶核の成長を抑えることができ、低損失のファイバを作製するのに適している。

【0029】

図3に、実施例1にかかる光ファイバの光電界分布を示す。数値計算法の一つである差分法を用いて求めた光電界分布である。電界が10パーセント変化するごとに、等高線を一本引いて表している。実施例1にかかる光ファイバは、計算結果から、中央のコアの領域102に光が閉じ込められ、伝搬しうることが分かる。光ファイバを切断・研磨後、近視野像（NFP）と遠視野像（FFP）とを観察すれば、光ファイバ中心部に光が閉じ込められ、单一モード化されていることが確認できる。

【0030】

図4に、実施例1にかかる光ファイバの波長分散を示す。実施例1にかかる光ファイバの零分散波長 λ_0 は、波長1.56μmである。

【実施例2】

【0031】

図5に、本発明の実施例2にかかる光ファイバを示す。ジャケット管304に挿入されたテルライトガラス301には、4つの空孔303a～303dが形成され、空孔303は空気で満たされており屈折率は1にほぼ等しい。4つの空孔303に囲まれた部分は、光が伝搬するコアとなる領域302である。領域302の内部には、テルライトガラスの組成を変化させ、テルライトガラス305を埋め込んでいる。実施例2では、キャピラリー法により光ファイバを作製した。テルライトガラス301の外径は110μm、空孔303の内径が35μmであり、コア径は3.0μmである。断面積 A_{eff} は $2.6\mu m^2$ であり、 γ 値は $940 W^{-1} km^{-1}$ である。

【0032】

図6に、実施例2にかかる光ファイバの光電界分布を示す。数値計算法の一つである差分法を用いて求めた光電界分布である。電界が10パーセント変化するごとに、等高線を一本引いて表している。実施例2にかかる光ファイバは、計算結果から、中央のコアの領域302に光が閉じ込められ、伝搬しうることが分かる。光ファイバを切断・研磨後、近視野像（NFP）と遠視野像（FFP）とを観察すれば、光ファイバ中心部に光が閉じ込められ、单一モード化されていることが確認できる。

【0033】

図7に、実施例2にかかる光ファイバの波長分散を示す。実施例2にかかる光ファイバの零分散波長 λ_0 は、波長 $1.30\mu\text{m}$ である。

【実施例3】

【0034】

図8に、本発明の実施例3にかかる光ファイバを示す。ジャケット管404に挿入されたテルライトガラス401には、4つの空孔403a～403dが形成され、空孔403は空気で満たされており屈折率は1にほぼ等しい。4つの空孔403に囲まれた部分は、光が伝搬するコアとなる領域402である。領域402の内部には、テルライトガラスの組成を変化させ、テルライトガラス401に対して比屈折率差が2.2%低い屈折率のテルライトガラス405を埋め込んでいる。実施例3では、キャピラリー法により光ファイバを作製した。テルライトガラス401の外径は $90\mu\text{m}$ 、空孔403の内径が $45\mu\text{m}$ であり、コア径は $2.7\mu\text{m}$ である。断面積 A_{eff} は $2.5\mu\text{m}^2$ であり、 γ 値は $930\text{W}^{-1}\text{km}^{-1}$ である。

【0035】

図9に、実施例3にかかる光ファイバの光電界分布を示す。数値計算法の一つである差分法を用いて求めた光電界分布である。電界が10パーセント変化するごとに、等高線を一本引いて表している。実施例3にかかる光ファイバは、計算結果から、中央のコアの領域402に光が閉じ込められ、伝搬しうることが分かる。光ファイバを切断・研磨後、近視野像(NFP)と遠視野像(FFP)とを観察すれば、光ファイバ中心部に光が閉じ込められ、单一モード化されていることが確認できる。

【0036】

図10に、実施例3にかかる光ファイバの波長分散を示す。実施例3にかかる光ファイバの零分散波長 λ_0 は、波長 $1.52\mu\text{m}$ である。

【実施例4】

【0037】

図11に、本発明の実施例4にかかる光ファイバを示す。ジャケット管504に挿入されたテルライトガラス501には、4つの空孔503a～503dが形成され、空孔503は空気で満たされており屈折率は1にほぼ等しい。4つの空孔503に囲まれた部分は、光が伝搬するコアとなる領域502である。領域502の内部には、中心空孔505が設けられている。実施例4では、キャピラリー法により光ファイバを作製した。テルライトガラス501の外径は $105\mu\text{m}$ 、空孔503の内径が $40\mu\text{m}$ であり、コア径は $3.1\mu\text{m}$ である。断面積 A_{eff} は $2.8\mu\text{m}^2$ であり、 γ 値は $810\text{W}^{-1}\text{km}^{-1}$ である。

【0038】

図12に、実施例4にかかる光ファイバの光電界分布を示す。数値計算法の一つである差分法を用いて求めた光電界分布である。電界が10パーセント変化するごとに、等高線を一本引いて表している。実施例4にかかる光ファイバは、計算結果から、中央のコアの領域502に光が閉じ込められ、伝搬しうることが分かる。光ファイバを切断・研磨後、近視野像(NFP)と遠視野像(FFP)とを観察すれば、光ファイバ中心部に光が閉じ込められ、单一モード化されていることが確認できる。

【0039】

図13に、実施例4にかかる光ファイバの波長分散を示す。実施例4にかかる光ファイバの零分散波長 λ_0 は、波長 $1.41\mu\text{m}$ である。

【実施例5】

【0040】

図14に、本発明の実施例5にかかる光ファイバを示す。ジャケット管604に挿入されたテルライトガラス601には、3つの空孔603a～603cが形成され、空孔603は空気で満たされており屈折率は1にほぼ等しい。3つの空孔603に囲まれた部分は、光が伝搬するコアとなる領域602である。実施例5では、押し出し法により光ファイバを作製した。テルライトガラス601の外径は $110\mu\text{m}$ 、空孔603の内径が $40\mu\text{m}$

mであり、コア径は $5.5 \mu\text{m}$ である。断面積 A_{eff} は $4.5 \mu\text{m}^2$ であり、 γ 値は $520 \text{W}^{-1} \text{km}^{-1}$ である。

【0041】

光ファイバを切断・研磨後、近視野像（NFP）と遠視野像（FFP）とを観察すれば、光ファイバ中心部に光が閉じ込められ、单一モード化されていることが確認できる。図15に、実施例5にかかる光ファイバの波長分散を示す。実施例5にかかる光ファイバの零分散波長 λ_0 は、波長 $1.65 \mu\text{m}$ であった。

【実施例6】

【0042】

図16に、本発明の実施例6にかかる光ファイバを示す。ジャケット管704に挿入されたテルライトガラス701には、4つの空孔703a～703dが形成され、空孔703は空気で満たされており屈折率は1にほぼ等しい。4つの空孔703に囲まれた部分は、光が伝搬するコアとなる領域702である。実施例6では、押し出し法により光ファイバを作製した。テルライトガラス701の外径は $110 \mu\text{m}$ 、空孔703の内径が $40 \mu\text{m}$ であり、コア径は $2.2 \mu\text{m}$ である。断面積 A_{eff} は $2.0 \mu\text{m}^2$ であり、 γ 値は $1200 \text{W}^{-1} \text{km}^{-1}$ である。

【0043】

光ファイバを切断・研磨後、近視野像（NFP）と遠視野像（FFP）とを観察すれば、光ファイバ中心部に光が閉じ込められ、单一モード化されていることが確認できる。図17に、実施例6にかかる光ファイバの波長分散を示す。実施例6にかかる光ファイバの零分散波長 λ_0 は、波長 $1.22 \mu\text{m}$ であった。

【実施例7】

【0044】

図18に、本発明の実施例7にかかる光ファイバを示す。ジャケット管804に挿入されたテルライトガラス801には、5つの空孔803a～803eが形成され、空孔803は空気で満たされており屈折率は1にほぼ等しい。5つの空孔803に囲まれた部分は、光が伝搬するコアとなる領域802である。領域802の内部には、テルライトガラスの組成を変化させ、テルライトガラス801に対して比屈折率差が1.1%高い屈折率のテルライトガラス805を埋め込んでいる。実施例7では、押し出し法により光ファイバを作製した。テルライトガラス801の外径は $110 \mu\text{m}$ 、空孔803の内径が $40 \mu\text{m}$ であり、コア径は $4.1 \mu\text{m}$ である。テルライトガラス805の直径は $1.0 \mu\text{m}$ である。断面積 A_{eff} は $3.5 \mu\text{m}^2$ であり、 γ 値は $680 \text{W}^{-1} \text{km}^{-1}$ である。

【0045】

光ファイバを切断・研磨後、近視野像（NFP）と遠視野像（FFP）とを観察すれば、光ファイバ中心部に光が閉じ込められ、单一モード化されていることが確認できる。図19に、実施例7にかかる光ファイバの波長分散を示す。実施例7にかかる光ファイバの零分散波長 λ_0 は、波長 $1.61 \mu\text{m}$ であった。

【実施例8】

【0046】

図20に、本発明の実施例8にかかる光ファイバを示す。ジャケット管904に挿入されたテルライトガラス901には、6つの空孔903a～903fが形成され、空孔903は空気で満たされており屈折率は1にほぼ等しい。6つの空孔903に囲まれた部分は、光が伝搬するコアとなる領域902である。領域902の内部には、テルライトガラスの組成を変化させ、テルライトガラス901に対して比屈折率差が1.5%低い屈折率のテルライトガラス905を埋め込んでいる。実施例8では、押し出し法により光ファイバを作製した。テルライトガラス901の外径は $110 \mu\text{m}$ 、空孔903の内径が $40 \mu\text{m}$ であり、コア径は $3.5 \mu\text{m}$ である。テルライトガラス905の直径は $1.5 \mu\text{m}$ である。断面積 A_{eff} は $3.4 \mu\text{m}^2$ であり、 γ 値は $670 \text{W}^{-1} \text{km}^{-1}$ である。

【0047】

光ファイバを切断・研磨後、近視野像（NFP）と遠視野像（FFP）とを観察すれば

、光ファイバ中心部に光が閉じ込められ、单一モード化されていることが確認できる。図21に、実施例8にかかる光ファイバの波長分散を示す。実施例8にかかる光ファイバの零分散波長 λ_0 は、波長 $1.70\mu\text{m}$ である。

【実施例9】

【0048】

図22に、本発明の実施例9にかかる光ファイバを示す。ジャケット管1004に挿入されたテルライトガラス1001には、3つの空孔1003a～1003cが形成され、空孔1003は空気で満たされており屈折率は1にほぼ等しい。3つの空孔1003に囲まれた部分は、光が伝搬するコアとなる領域1002である。図23に、光ファイバのコアとなる領域の拡大図を示す。領域1002の内部には、中心空孔1005が設けられている。実施例9では、超音波ドリル法により光ファイバを作製した。テルライトガラス1001の外径は $100\mu\text{m}$ 、空孔1003の内径が $35\mu\text{m}$ であり、コア径aは $5.5\mu\text{m}$ である。空孔1005の直径dは $0.5\mu\text{m}$ である。断面積 A_{eff} は $3.0\mu\text{m}^2$ であり、 γ 値は $780\text{W}^{-1}\text{km}^{-1}$ である。

【0049】

光ファイバを切断・研磨後、近視野像（NFP）と遠視野像（FFP）とを観察すれば、光ファイバ中心部に光が閉じ込められ、单一モード化されていることが確認できる。図24に、零分散波長とコアサイズとの関係を示す。零分散波長を $1.2\mu\text{m}$ ～ $1.7\mu\text{m}$ 帯内に収めるためには、空孔に囲まれて光を閉じ込めるコアとなる領域の大きさを $0.7\mu\text{m}$ ～ $10\mu\text{m}$ の範囲に制御すればよいことが分かる。

【実施例10】

【0050】

図25に、本発明の実施例10にかかる光ファイバを示す。ジャケット管1104に挿入されたテルライトガラス1101には、4つの空孔1103a～1103dが形成され、空孔1103は空気で満たされており屈折率は1にほぼ等しい。4つの空孔1103に囲まれた部分は、光が伝搬するコアとなる領域1102である。図26に、光ファイバのコアとなる領域の拡大図を示す。実施例10では、超音波ドリル法により光ファイバを作製した。テルライトガラス1101の外径は $125\mu\text{m}$ 、空孔1103の内径が $50\mu\text{m}$ であり、コア径は $3.5\mu\text{m}$ である。断面積 A_{eff} は $3.2\mu\text{m}^2$ であり、 γ 値は $770\text{W}^{-1}\text{km}^{-1}$ である。

【0051】

光ファイバを切断・研磨後、近視野像（NFP）と遠視野像（FFP）とを観察すれば、光ファイバ中心部に光が閉じ込められ、单一モード化されていることが確認できる。図27に、零分散波長とコアサイズとの関係を示す。零分散波長を $1.2\mu\text{m}$ ～ $1.7\mu\text{m}$ 帯内に収めるためには、空孔に囲まれて光を閉じ込めるコアとなる領域の大きさを $0.5\mu\text{m}$ ～ $6.0\mu\text{m}$ の範囲に制御すればよいことが分かる。

【実施例11】

【0052】

図28に、本発明の実施例11にかかる光ファイバを示す。ジャケット管1204に挿入されたテルライトガラス1201には、5つの空孔1203a～1303dが形成され、空孔1203は空気で満たされており屈折率は1にほぼ等しい。5つの空孔1203に囲まれた部分は、光が伝搬するコアとなる領域1202である。図29に、光ファイバのコアとなる領域の拡大図を示す。領域1202の内部には、テルライトガラスの組成を変化させ、テルライトガラス1201に対して比屈折率差が1.1%高い屈折率のテルライトガラス1205を埋め込んでいる。実施例11では、押し出し法により光ファイバを作製した。テルライトガラス1201の外径は $80\mu\text{m}$ 、空孔1203の内径が $35\mu\text{m}$ であり、コア径は $3.9\mu\text{m}$ である。テルライトガラス1205の直径は $1.0\mu\text{m}$ である。断面積 A_{eff} は $3.4\mu\text{m}^2$ であり、 γ 値は $690\text{W}^{-1}\text{km}^{-1}$ である。

【0053】

光ファイバを切断・研磨後、近視野像（NFP）と遠視野像（FFP）とを観察すれば

、光ファイバ中心部に光が閉じ込められ、单一モード化されていることが確認できる。図30に、零分散波長とコアサイズとの関係を示す。零分散波長を1.2μm～1.7μm帯内に収めるためには、空孔に囲まれて光を閉じ込めるコアとなる領域の大きさを0.4μm～5.0μmの範囲に制御すればよいことが分かる。

【実施例12】

【0054】

図31に、本発明の実施例12にかかる光ファイバを示す。ジャケット管1304に挿入されたテルライトガラス1301には、6つの空孔1303a～1303fが形成され、空孔1303は空気で満たされており屈折率は1にほぼ等しい。6つの空孔1303に囲まれた部分は、光が伝搬するコアとなる領域1302である。図32に、光ファイバのコアとなる領域の拡大図を示す。領域1302の内部には、テルライトガラスの組成を変化させ、テルライトガラス1301に対して比屈折率差が1.5%低い屈折率のテルライトガラス1305を埋め込んでいる。実施例12では、押し出し法により光ファイバを作製した。テルライトガラス1301の外径は95μm、空孔1303の内径が50μmであり、コア径は3.0μmである。テルライトガラス1305の直径は1.5μmである。断面積Aeffは3.5μm²であり、γ値は680W⁻¹km⁻¹である。

【0055】

光ファイバを切断・研磨後、近視野像（NFP）と遠視野像（FFP）とを観察すれば、光ファイバ中心部に光が閉じ込められ、单一モード化されていることが確認できる。図33に、零分散波長とコアサイズとの関係を示す。零分散波長を1.2μm～1.7μm帯内に収めるためには、空孔に囲まれて光を閉じ込めるコアとなる領域の大きさを0.3μm～4.0μmの範囲に制御すればよいことが分かる。

【図面の簡単な説明】

【0056】

【図1】本発明の実施例1にかかる光ファイバを示す断面図である。

【図2】本発明の実施例1にかかる光ファイバの作製方法を示す図である。

【図3】本発明の実施例1にかかる光ファイバの光電界分布を示す図である。

【図4】本発明の実施例1にかかる光ファイバの波長分散を示す図である。

【図5】本発明の実施例2にかかる光ファイバを示す断面図である。

【図6】本発明の実施例2にかかる光ファイバの光電界分布を示す図である。

【図7】本発明の実施例2にかかる光ファイバの波長分散を示す図である。

【図8】本発明の実施例3にかかる光ファイバを示す断面図である。

【図9】本発明の実施例3にかかる光ファイバの光電界分布を示す図である。

【図10】本発明の実施例3にかかる光ファイバの波長分散を示す図である。

【図11】本発明の実施例4にかかる光ファイバを示す断面図である。

【図12】本発明の実施例4にかかる光ファイバの光電界分布を示す図である。

【図13】本発明の実施例4にかかる光ファイバの波長分散を示す図である。

【図14】本発明の実施例5にかかる光ファイバを示す断面図である。

【図15】本発明の実施例5にかかる光ファイバの波長分散を示す図である。

【図16】本発明の実施例6にかかる光ファイバを示す断面図である。

【図17】本発明の実施例6にかかる光ファイバの波長分散を示す図である。

【図18】本発明の実施例7にかかる光ファイバを示す断面図である。

【図19】本発明の実施例7にかかる光ファイバの波長分散を示す図である。

【図20】本発明の実施例8にかかる光ファイバを示す断面図である。

【図21】本発明の実施例8にかかる光ファイバの波長分散を示す図である。

【図22】本発明の実施例9にかかる光ファイバを示す断面図である。

【図23】本発明の実施例9にかかる光ファイバのコアとなる領域を示す断面図である。

【図24】実施例9にかかる光ファイバの零分散波長とコアサイズとの関係を示す図である。

【図25】本発明の実施例10にかかる光ファイバを示す断面図である。

【図26】本発明の実施例10にかかる光ファイバのコアとなる領域を示す断面図である。

【図27】実施例10にかかる光ファイバの零分散波長とコアサイズとの関係を示す図である。

【図28】本発明の実施例11にかかる光ファイバを示す断面図である。

【図29】本発明の実施例11にかかる光ファイバのコアとなる領域を示す断面図である。

【図30】実施例11にかかる光ファイバの零分散波長とコアサイズとの関係を示す図である。

【図31】本発明の実施例12にかかる光ファイバを示す断面図である。

【図32】本発明の実施例12にかかる光ファイバのコアとなる領域を示す断面図である。

【図33】実施例12にかかる光ファイバの零分散波長とコアサイズとの関係を示す図である。

【符号の説明】

【0057】

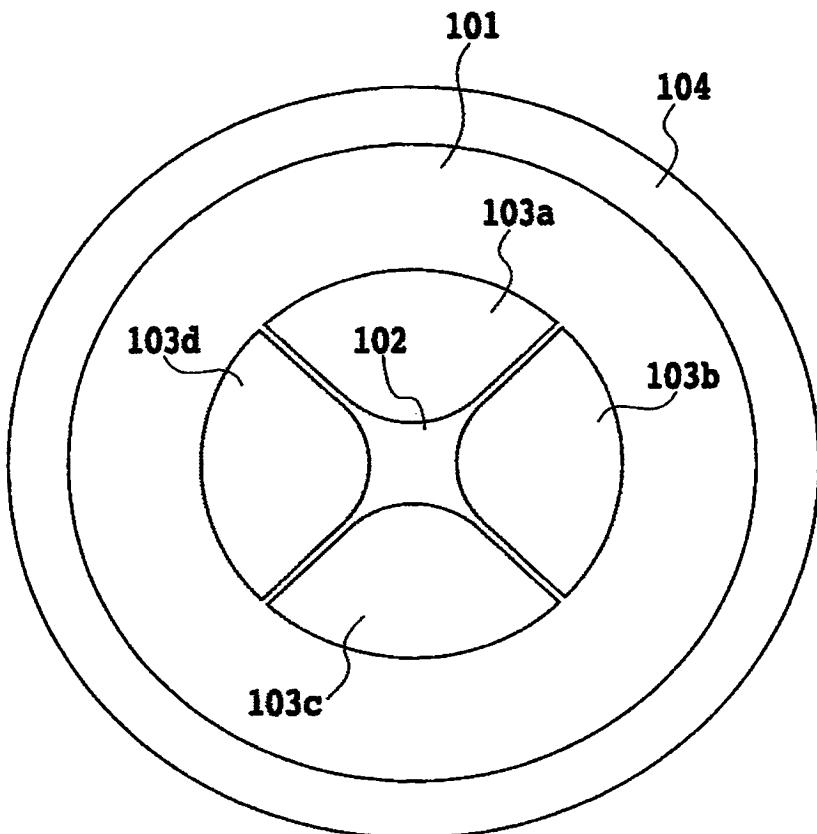
101, 301, 305, 401, 405, 501, 601, 701, 801, 805
, 901, 905, 1001, 1101, 1201, 1205, 1301, 1305 テ
ルライトガラス

102, 302, 402, 502, 602, 702, 802, 902, 1002, 11
02, 1202, 1302 コアとなる領域

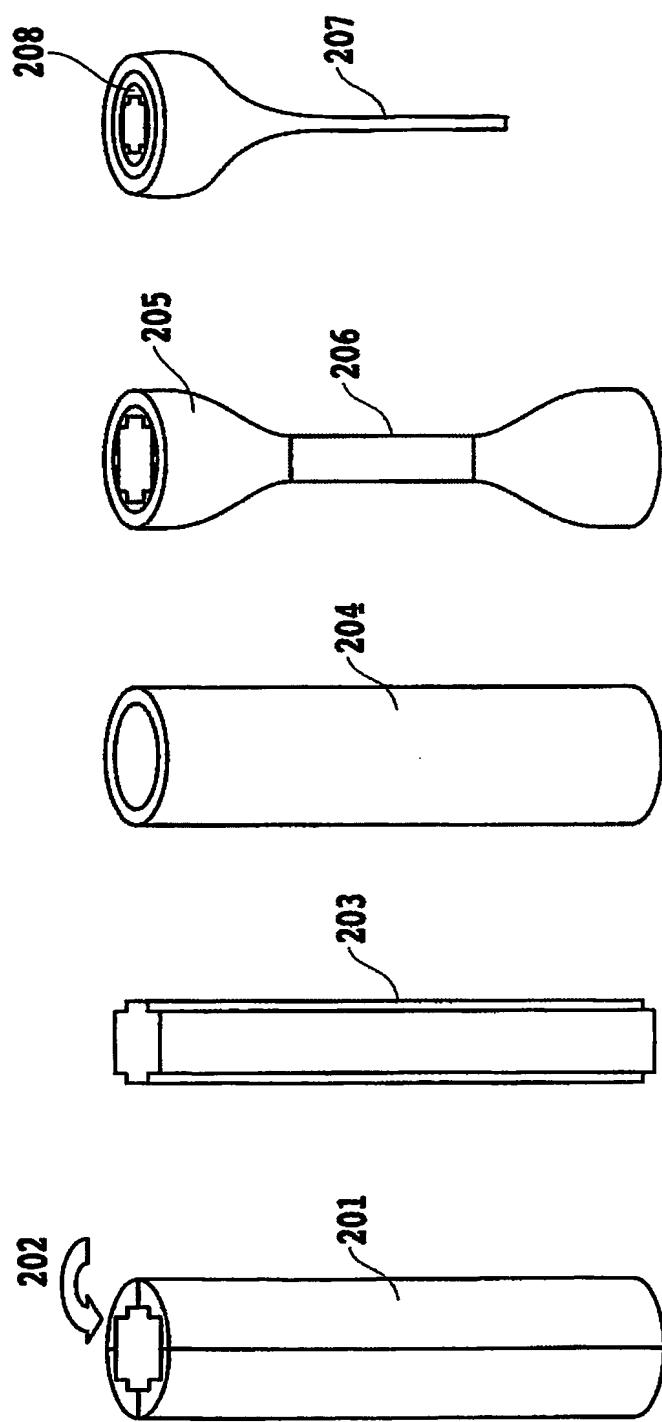
103, 303, 403, 503, 505, 603, 703, 803, 903, 100
3, 1005, 1103, 1203, 1303 空孔

104, 304, 404, 504, 604, 704, 804, 904, 1004, 11
04, 1204, 1304 ジャケット管

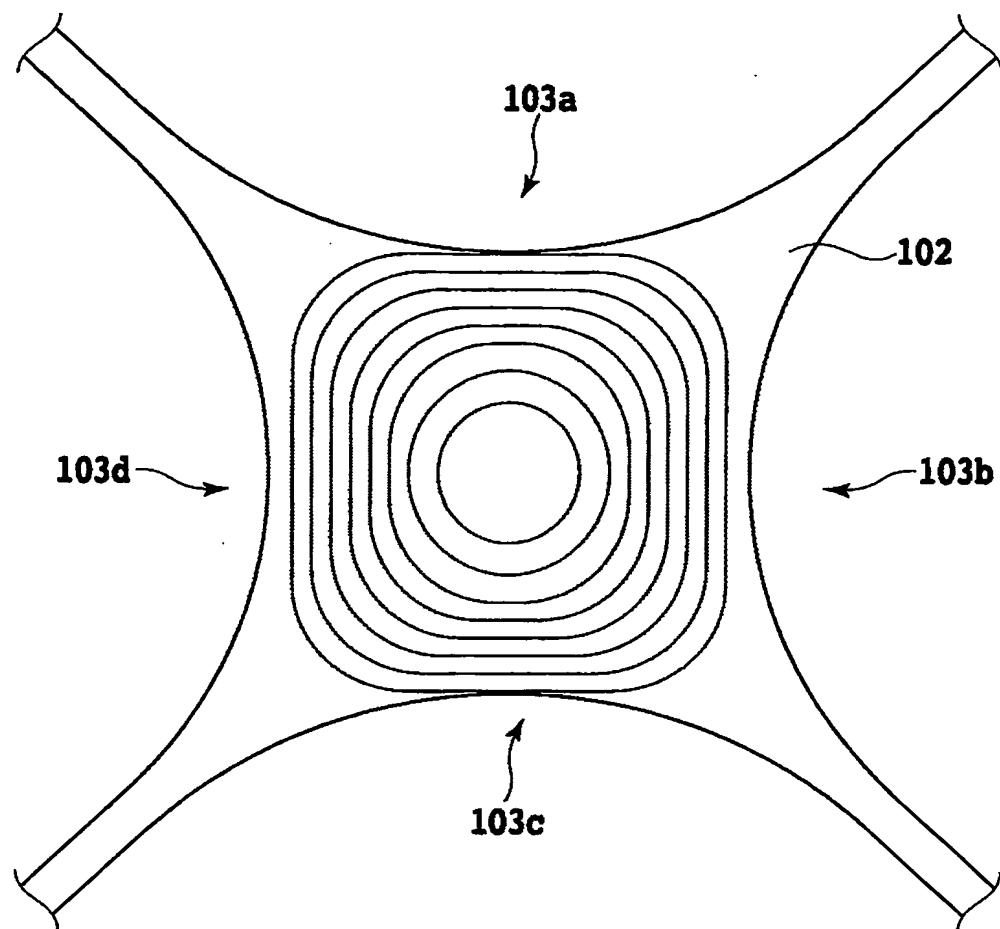
【書類名】図面
【図1】



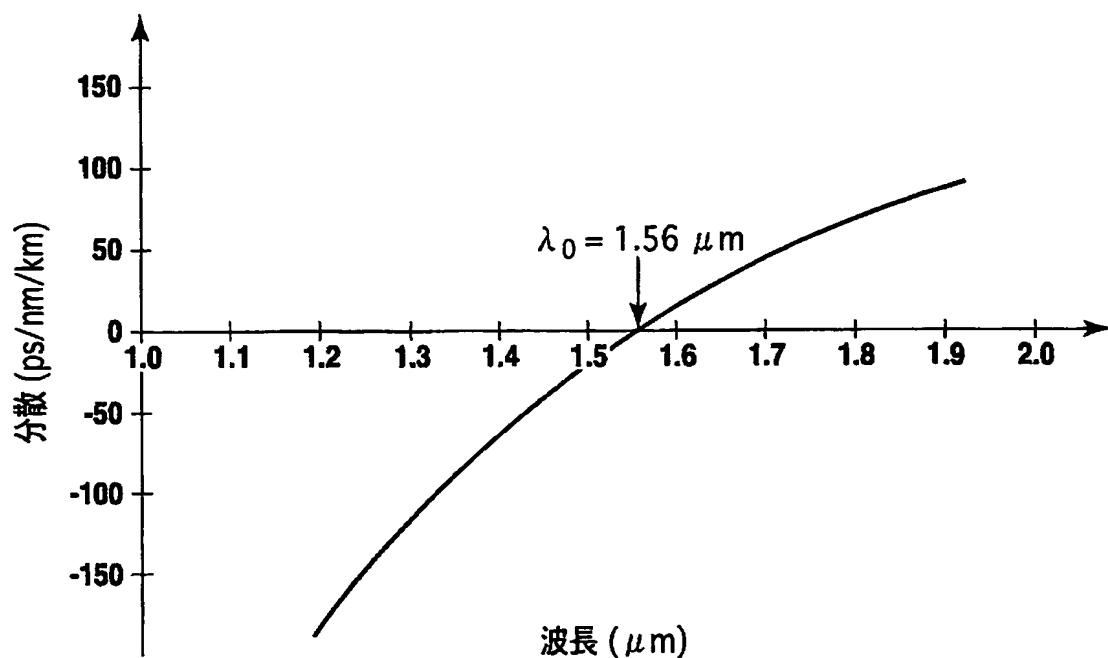
【図 2】



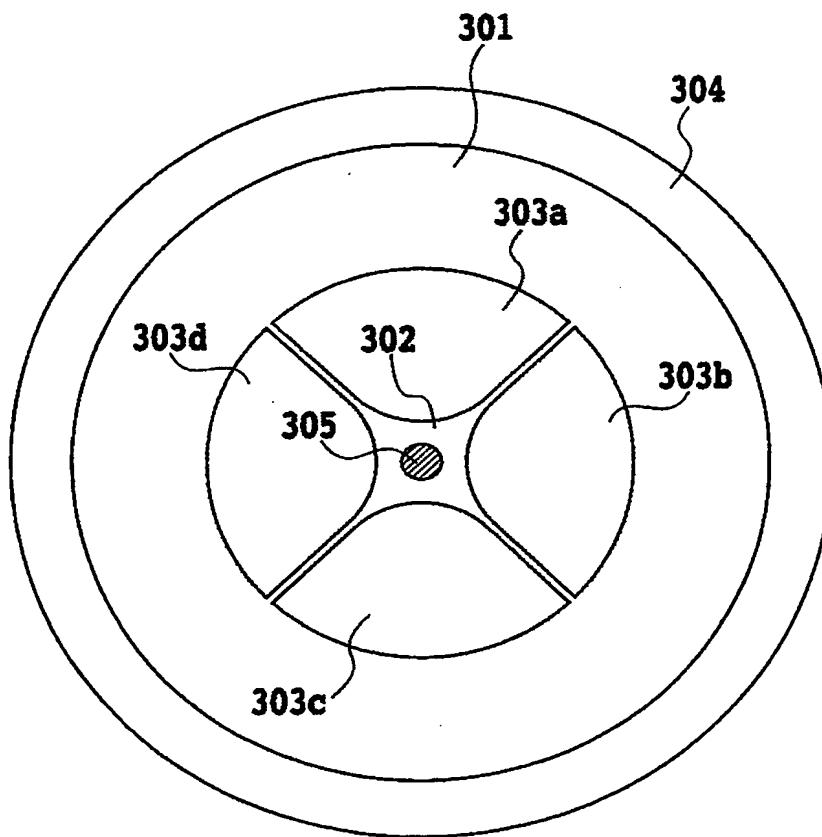
【図3】



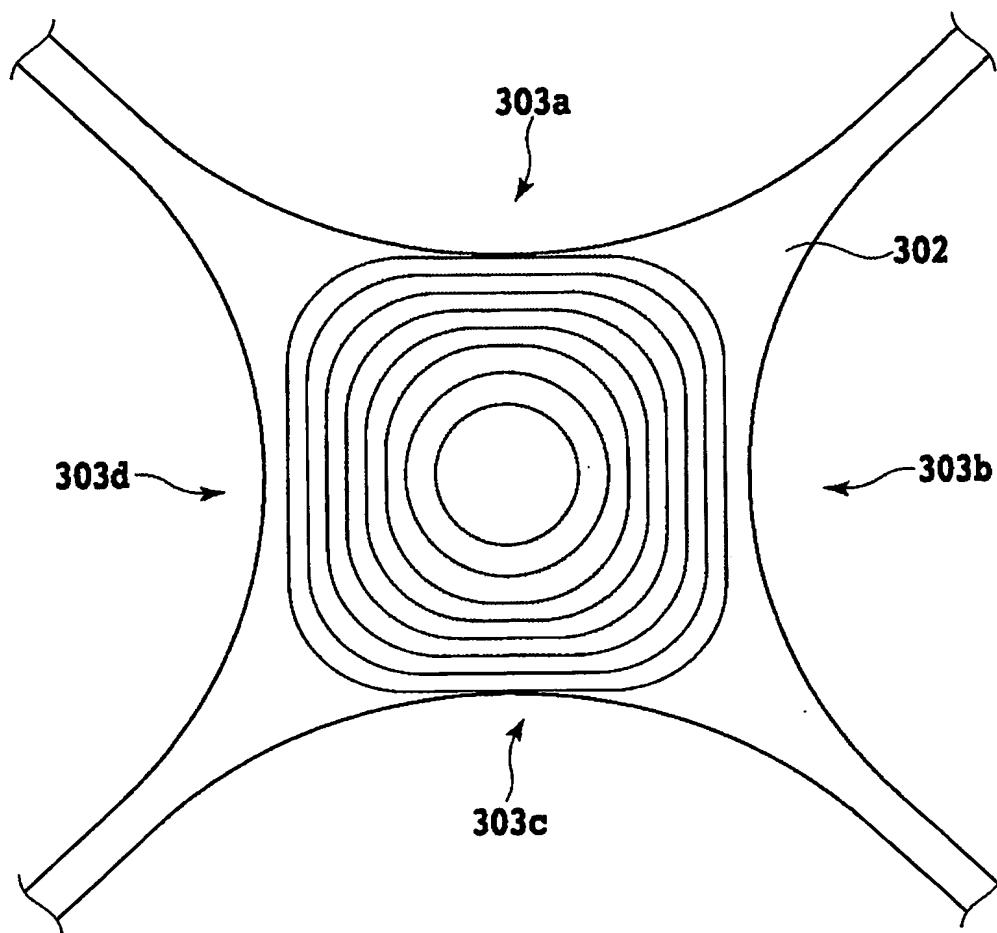
【図4】



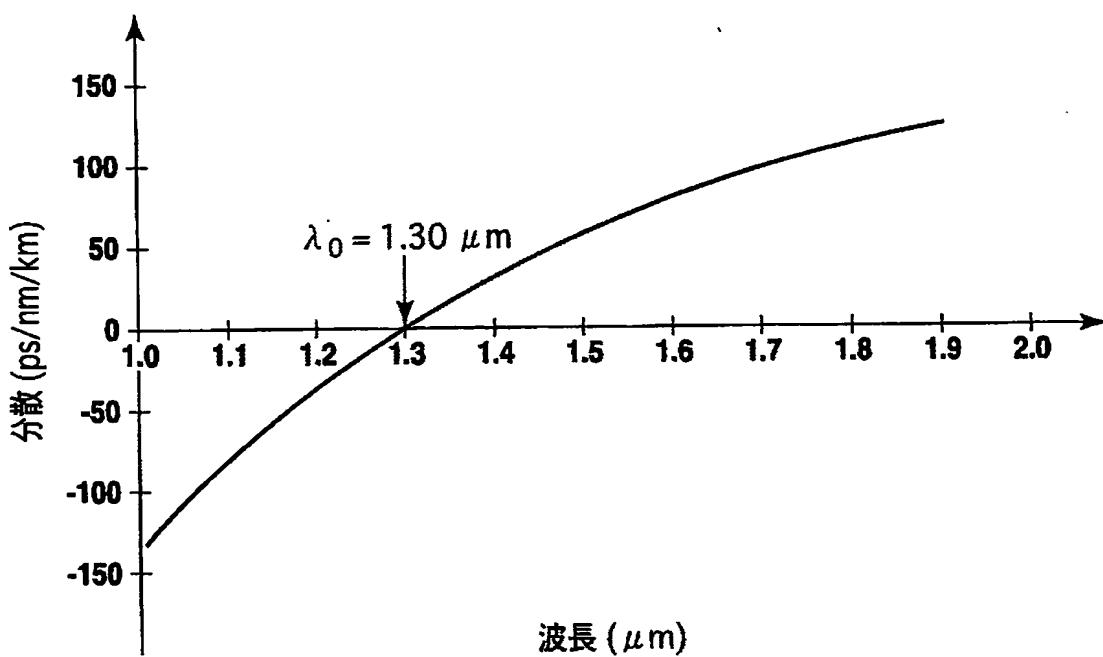
【図5】



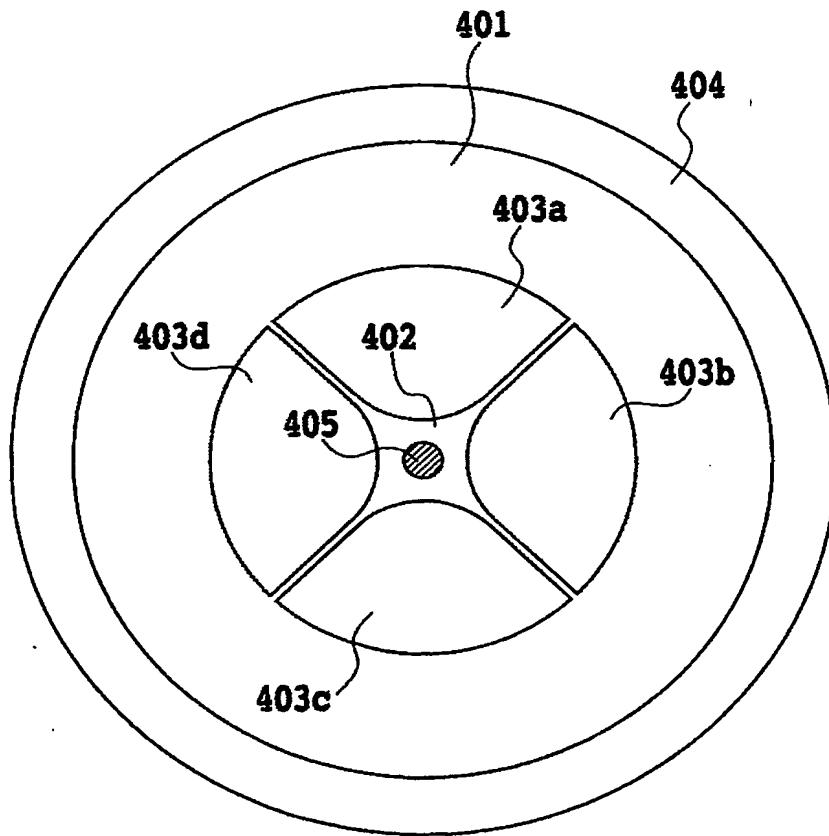
【図6】



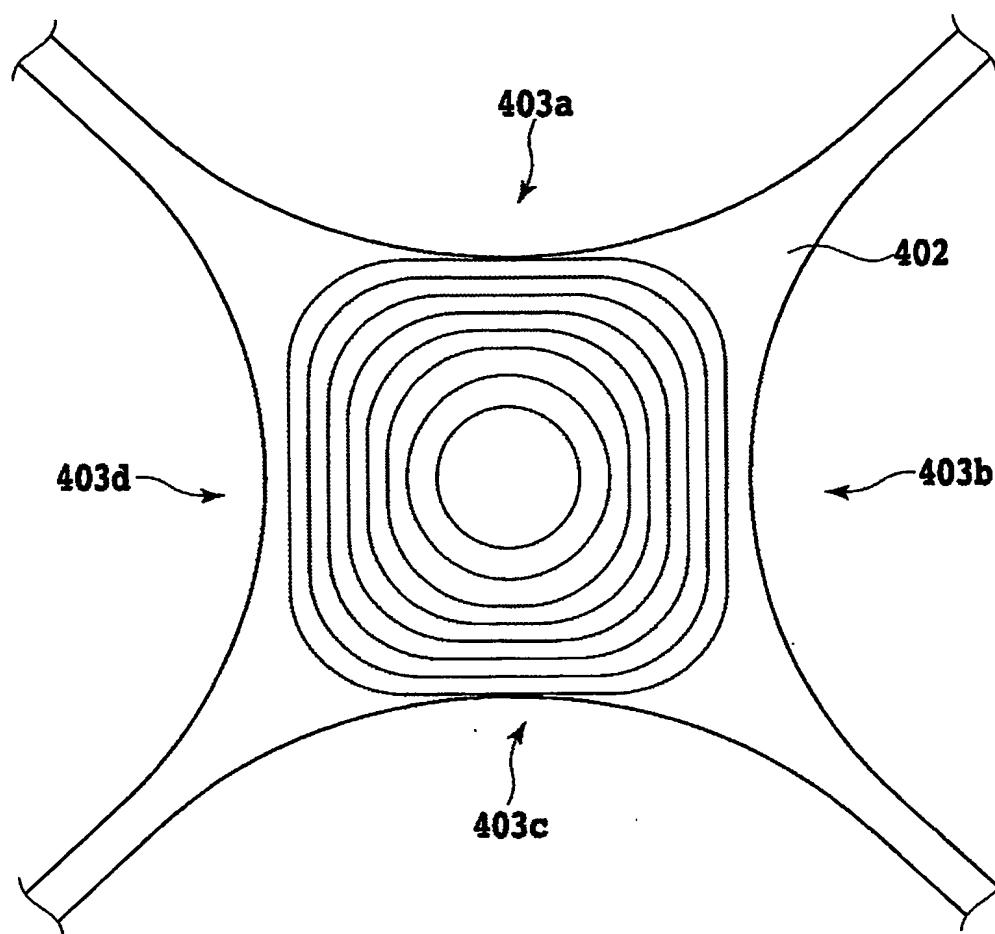
【図 7】



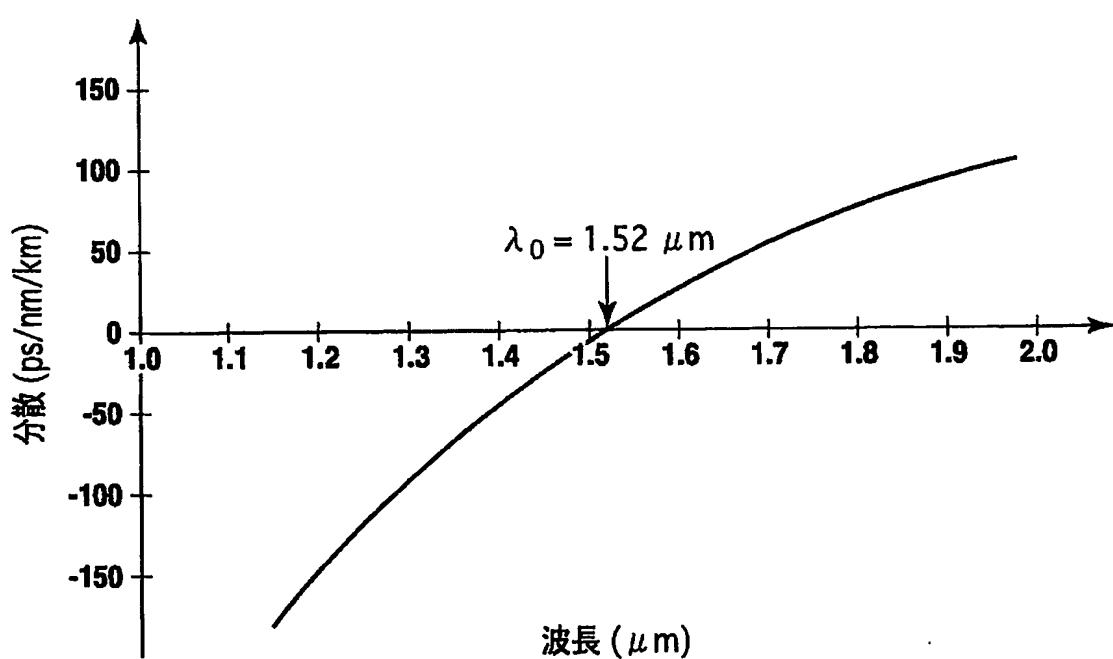
【図 8】



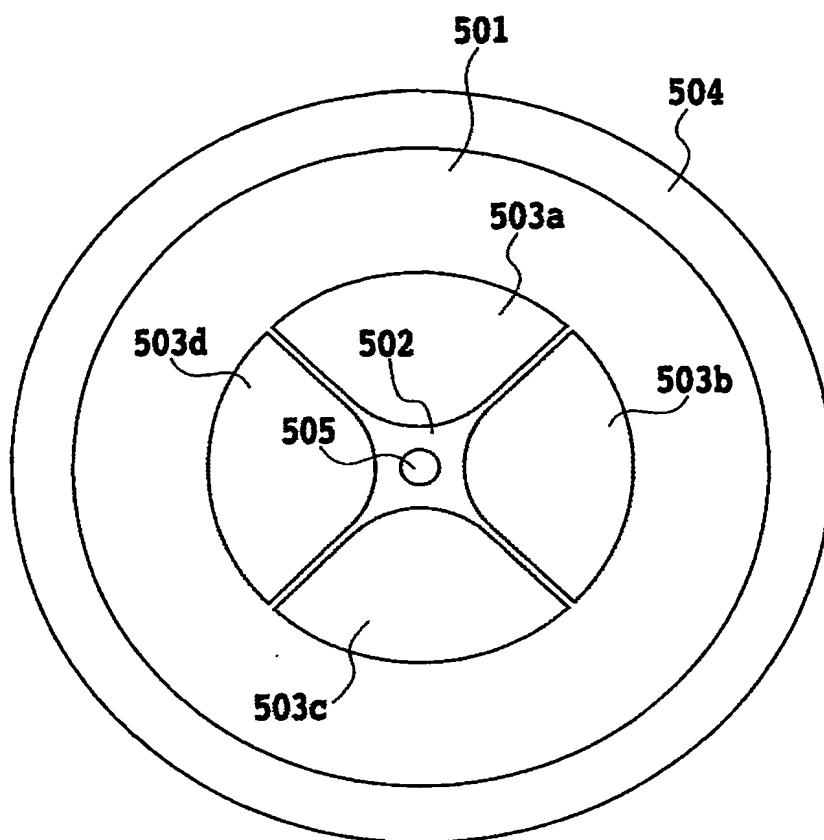
【図9】



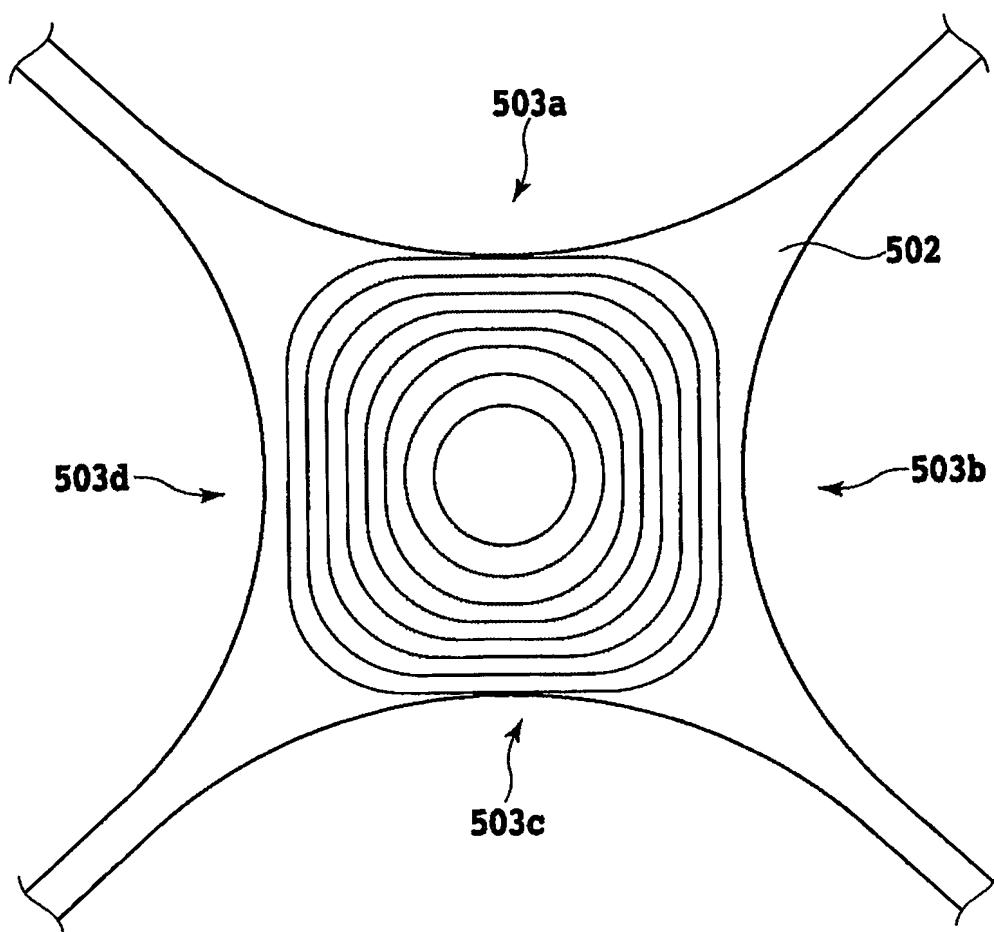
【図10】



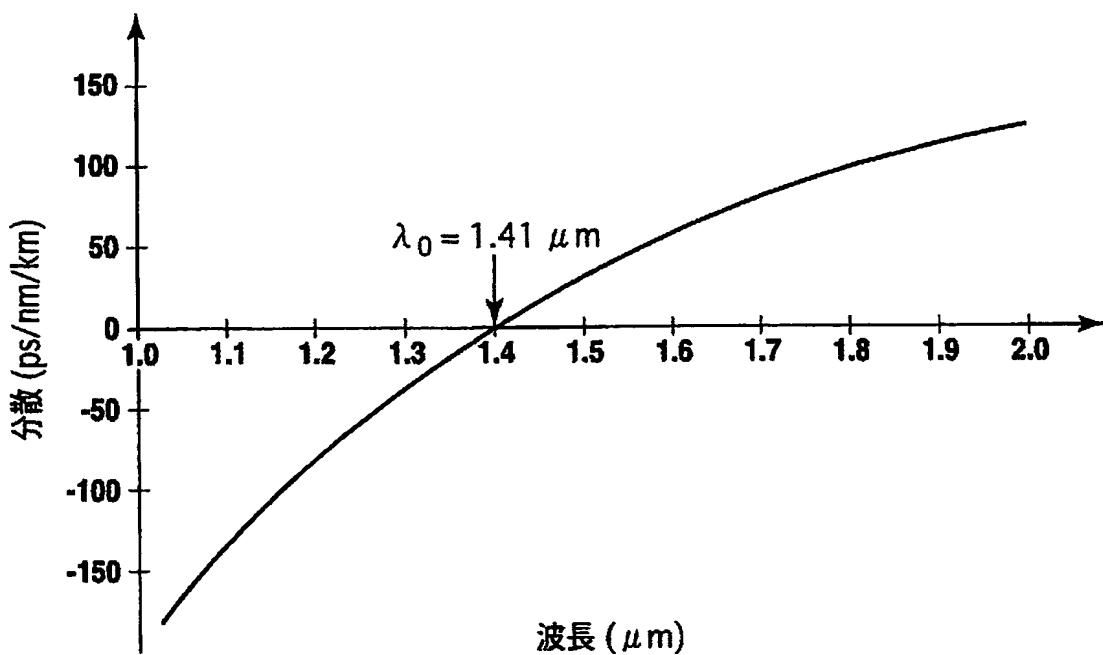
【図11】



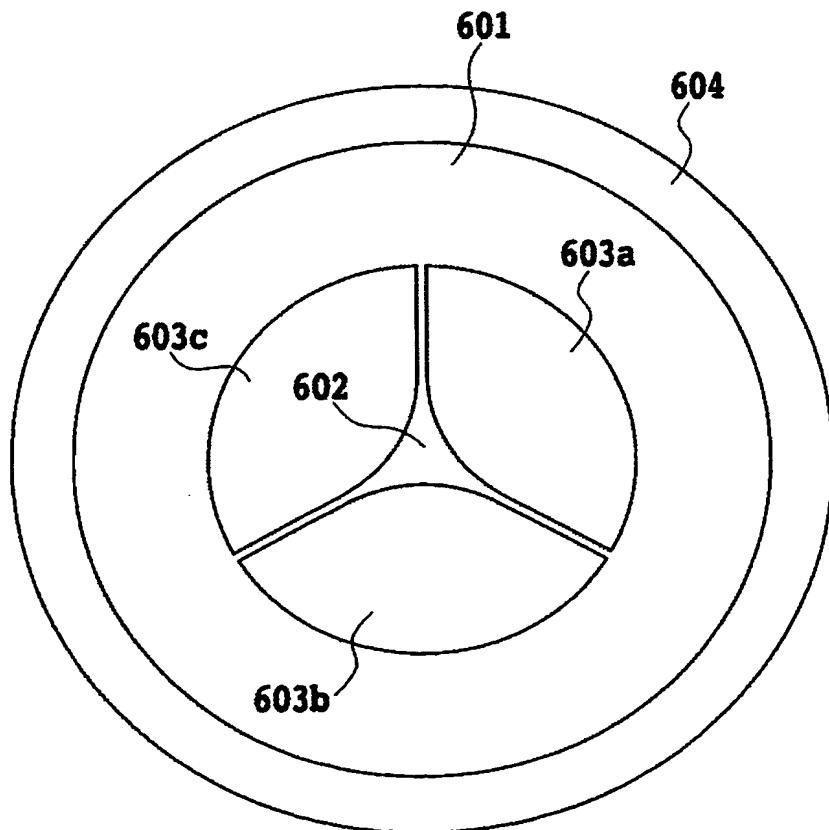
【図12】



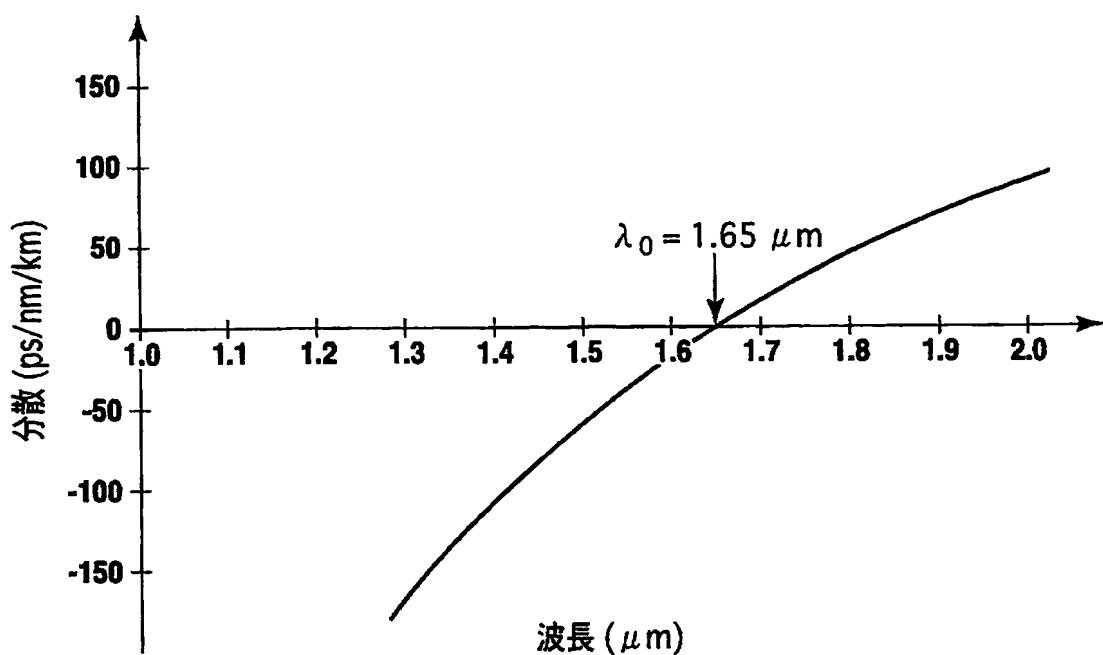
【図13】



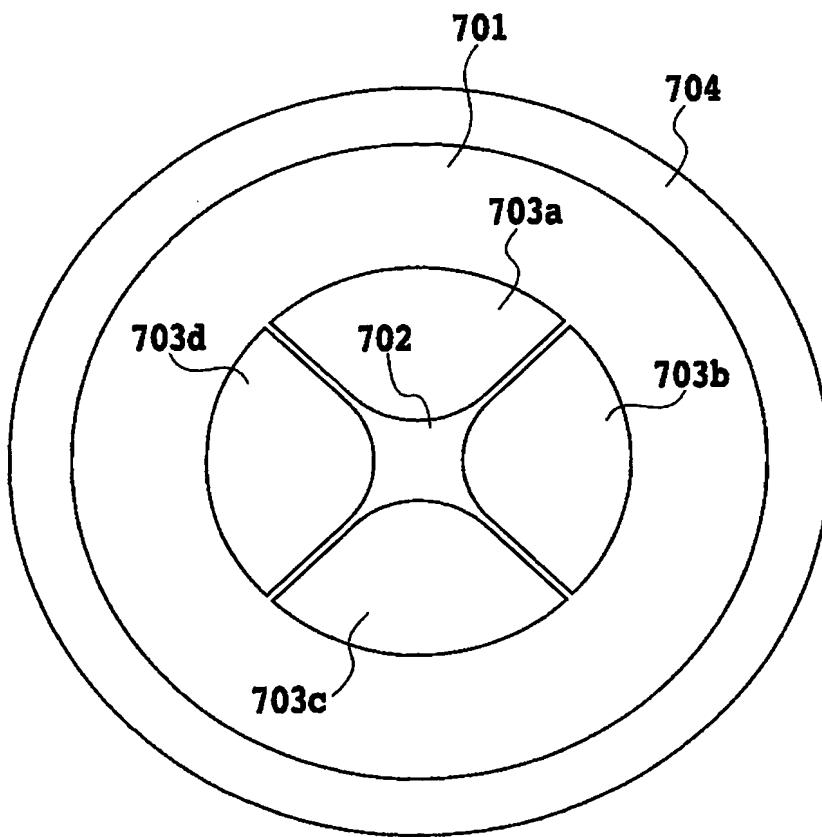
【図14】



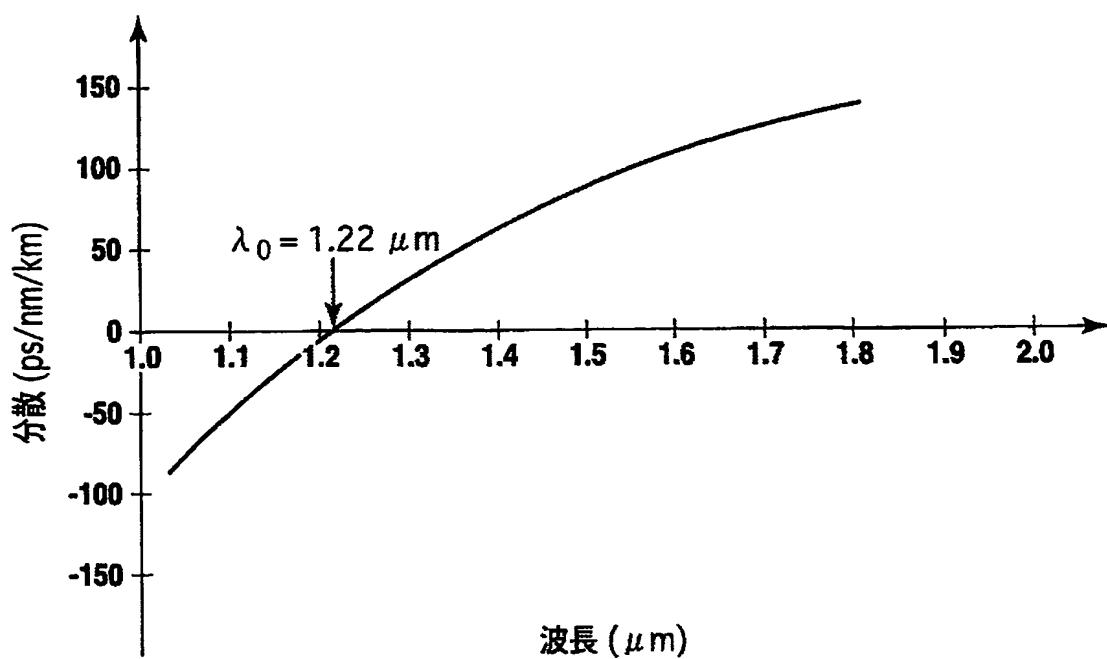
【図15】



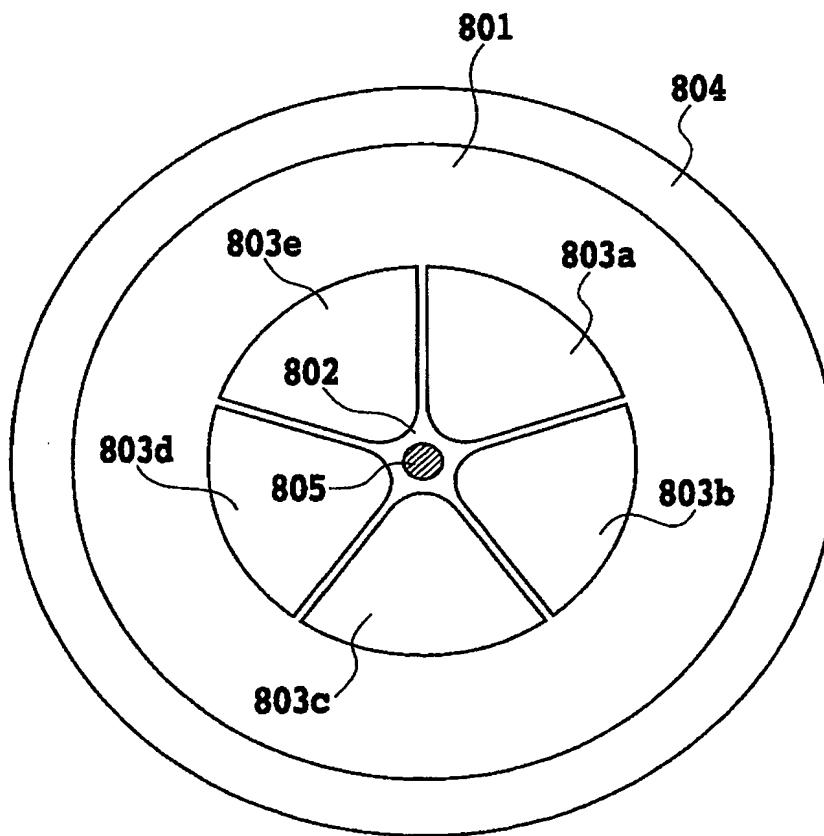
【図16】



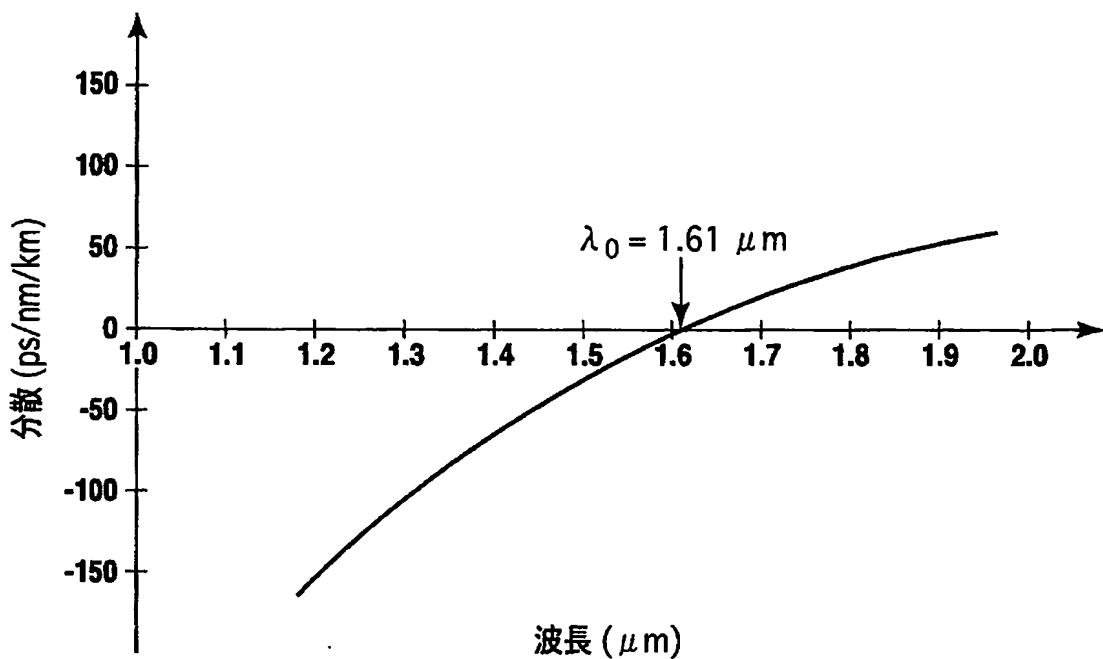
【図17】



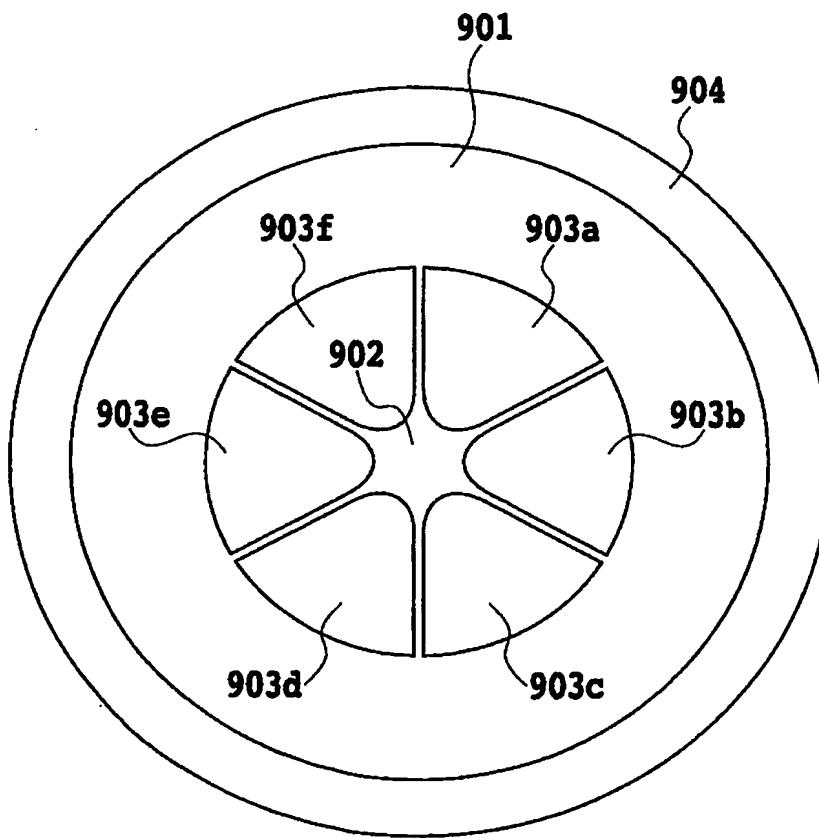
【図18】



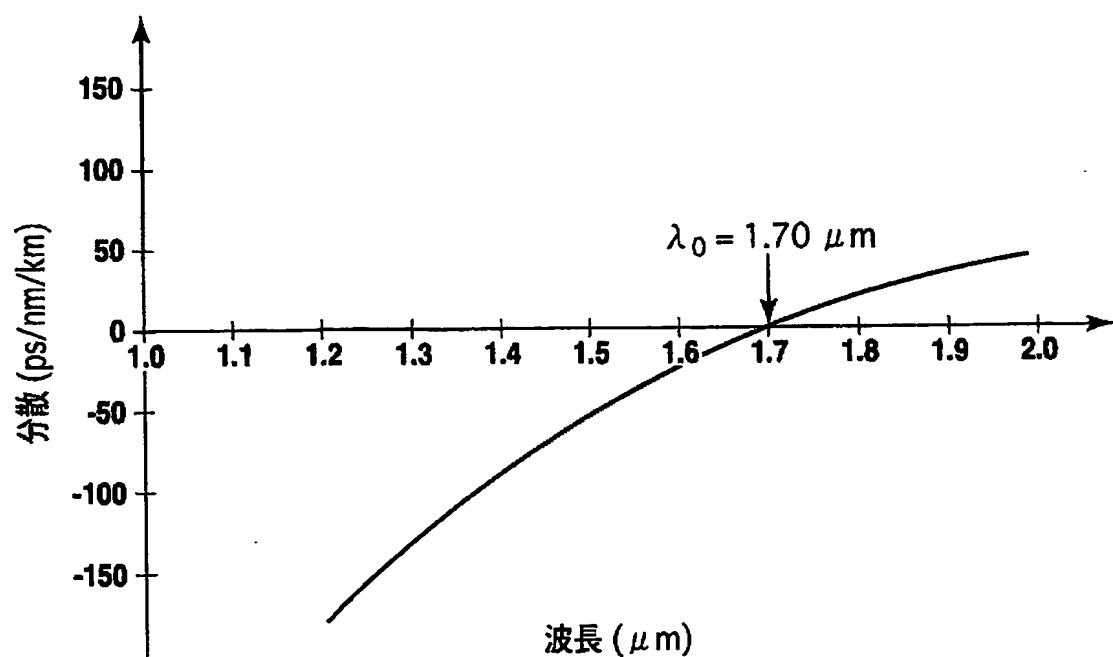
【図19】



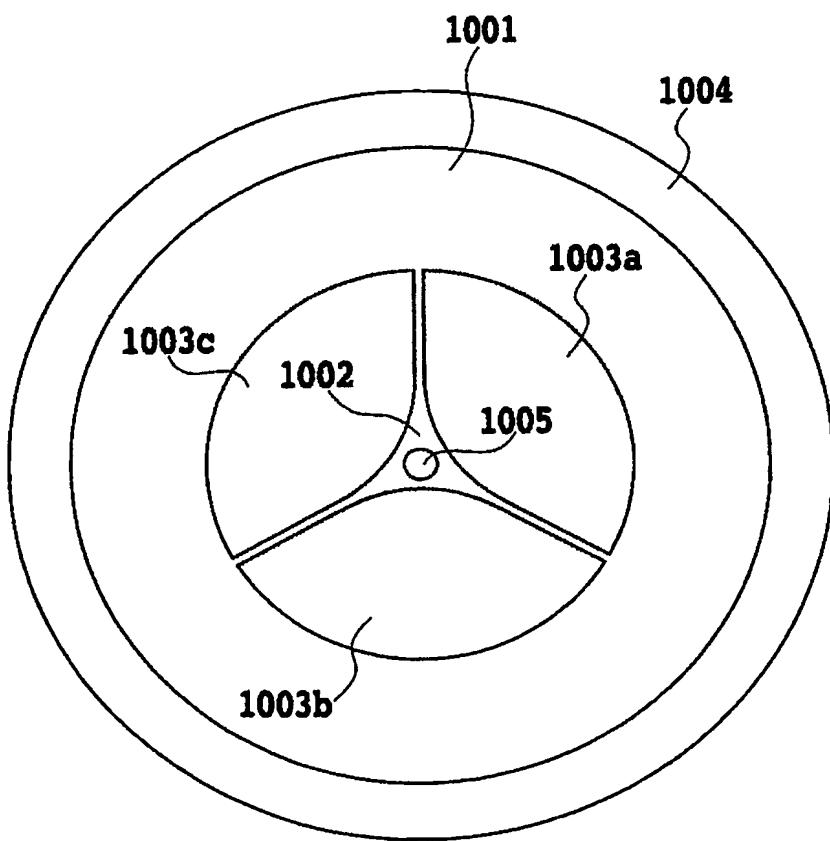
【図20】



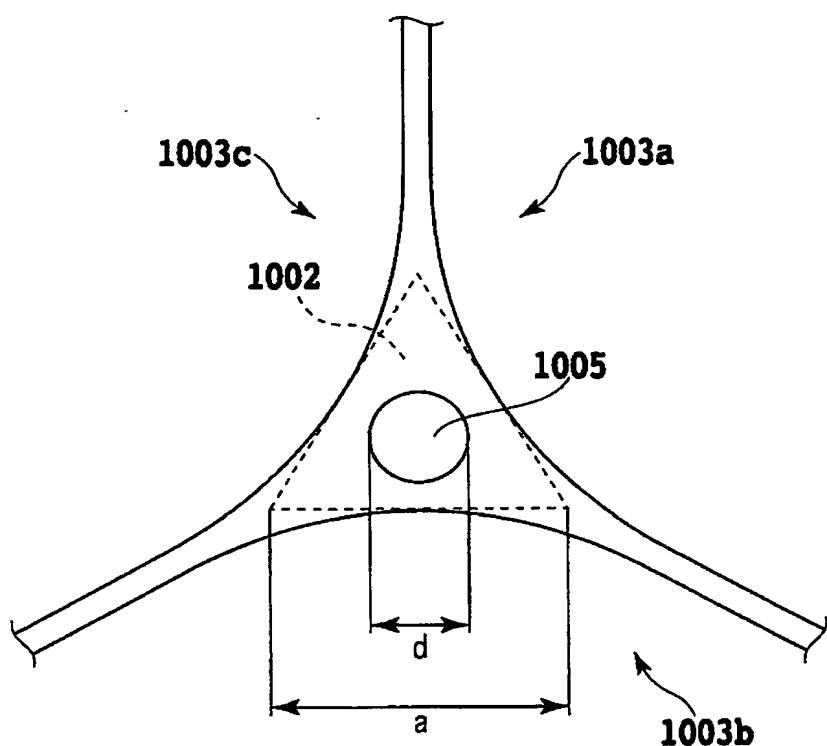
【図 2 1】



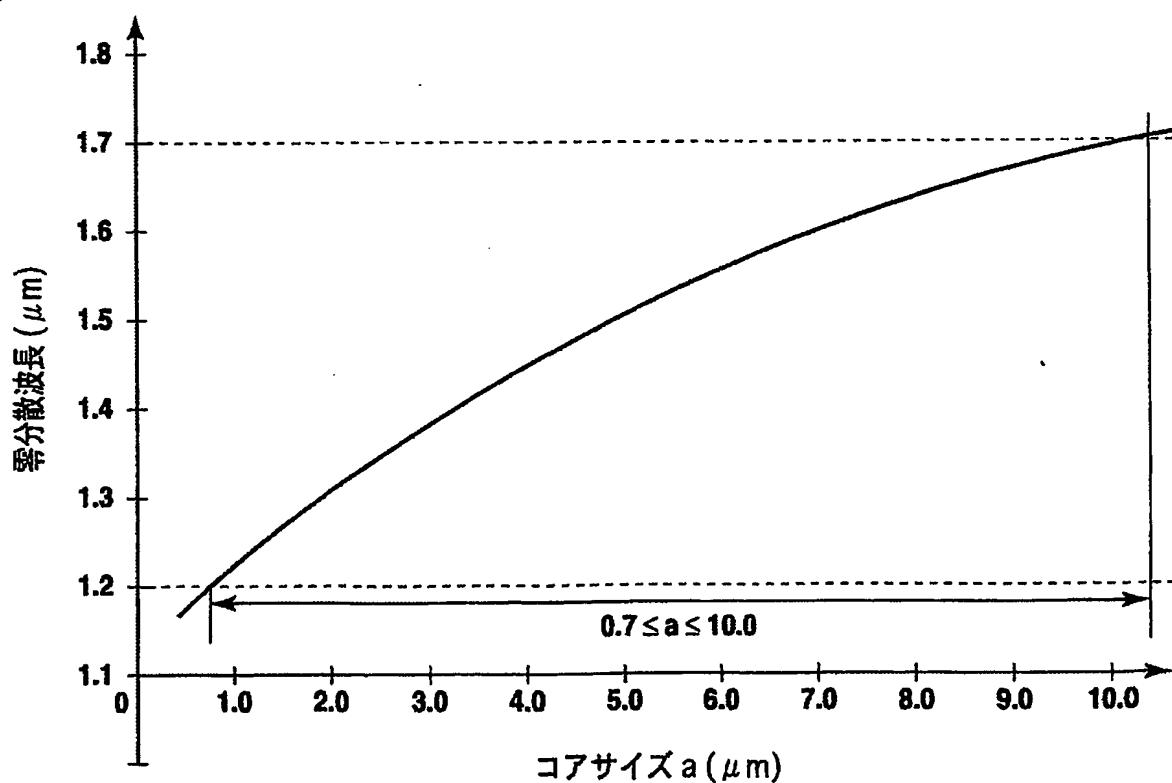
【図 2 2】



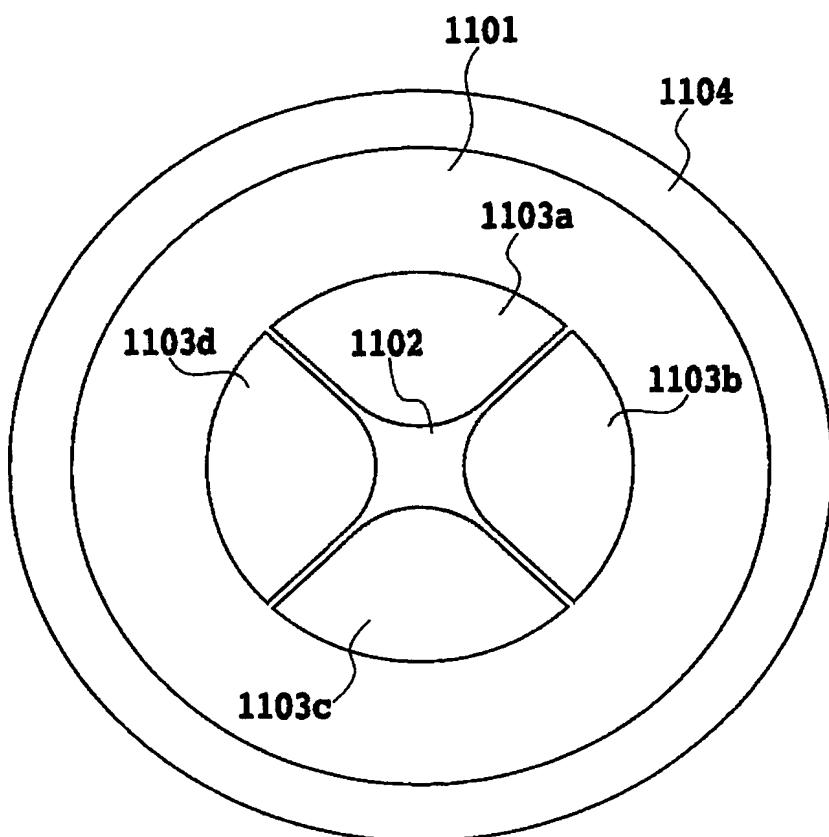
【図23】



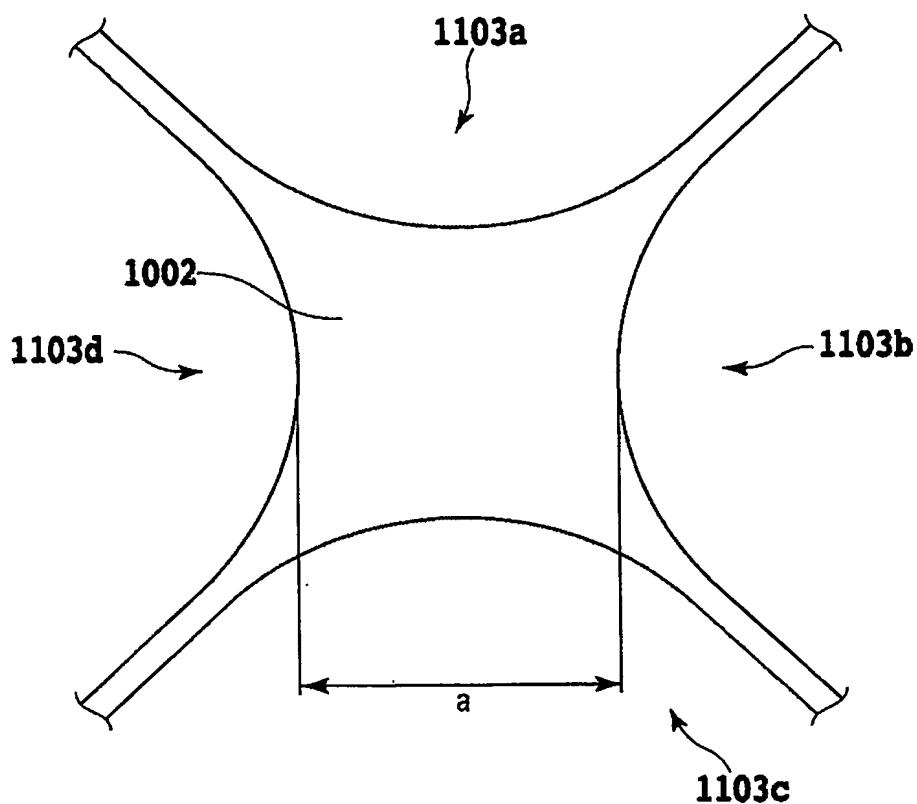
【図24】



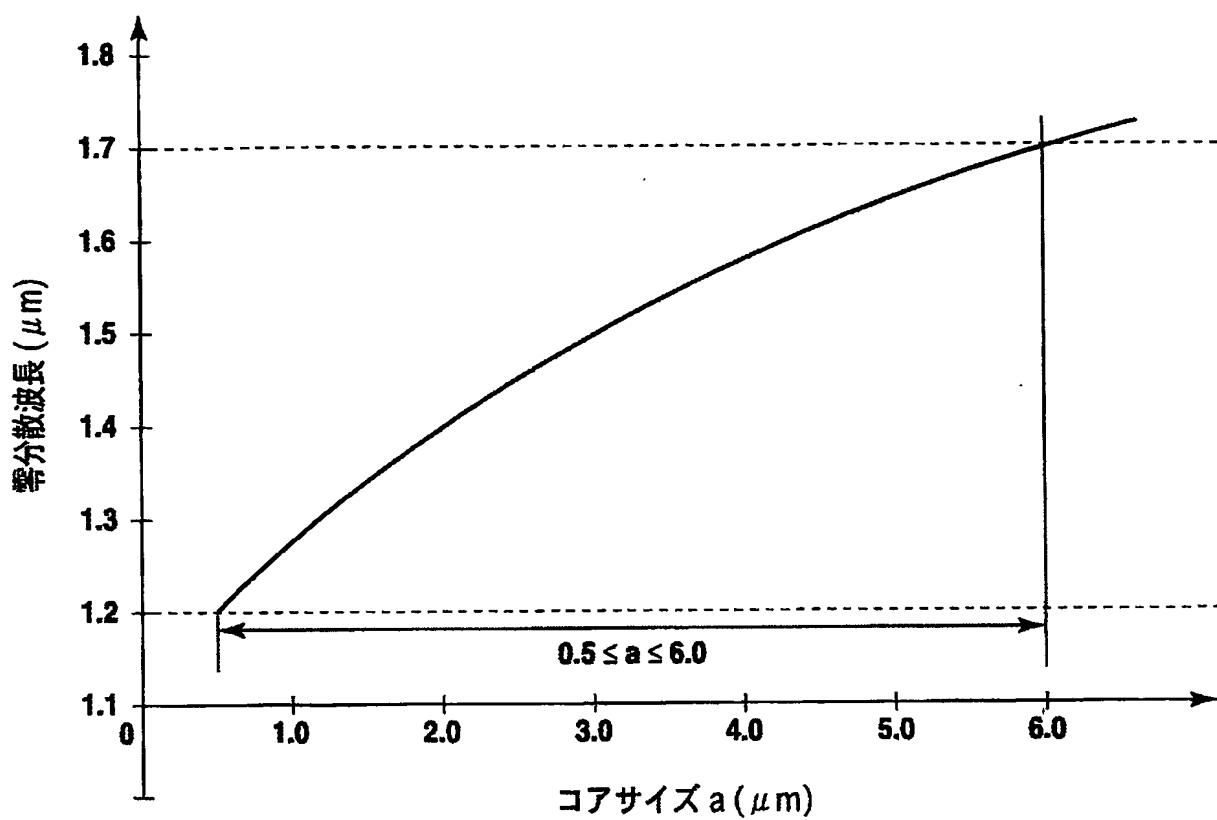
【図25】



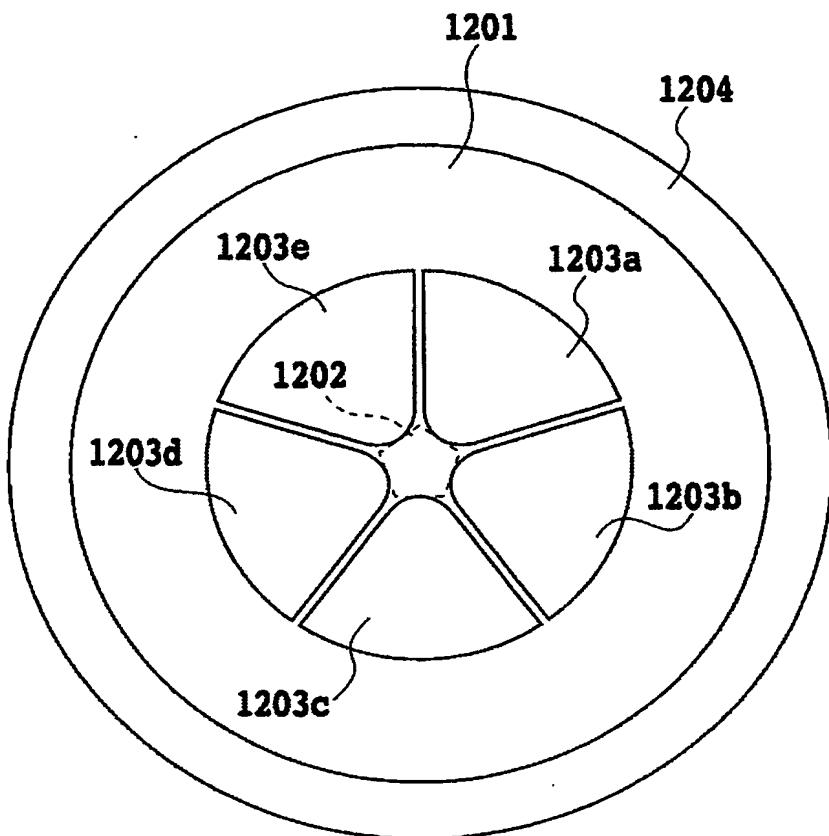
【図26】



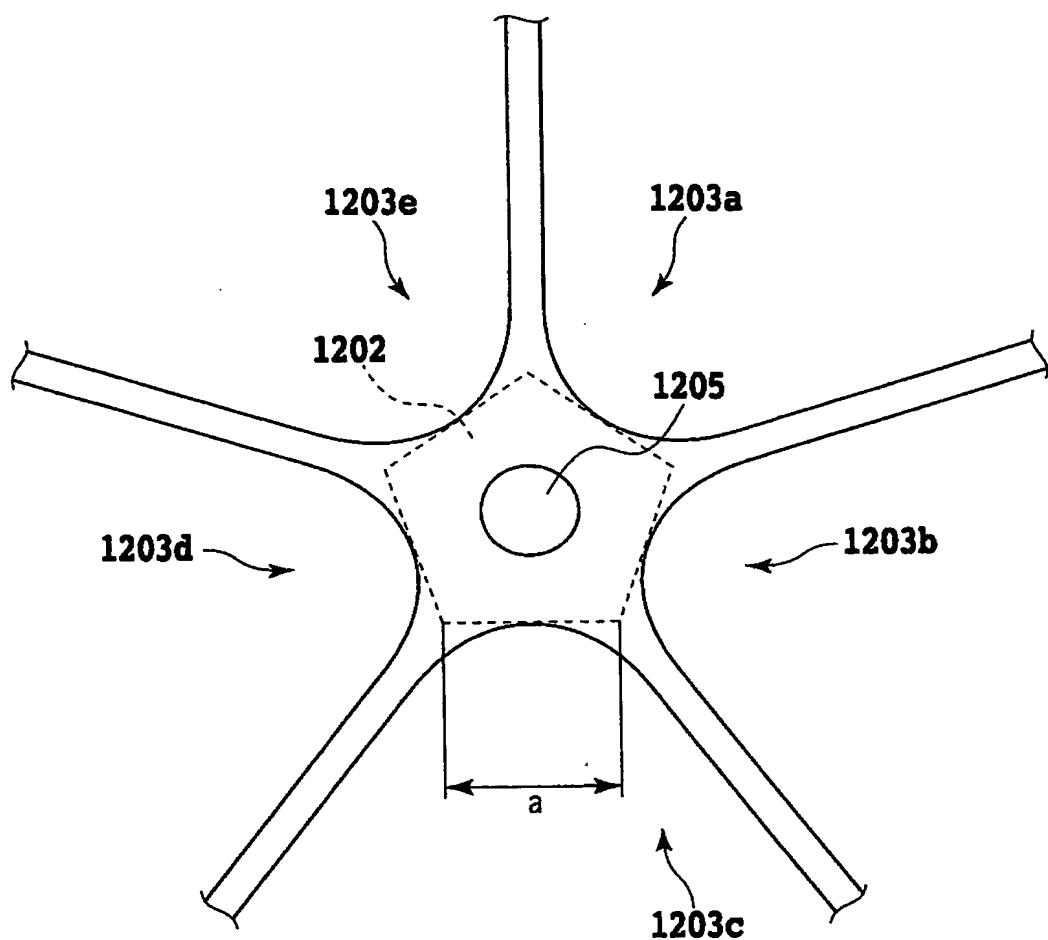
【図27】



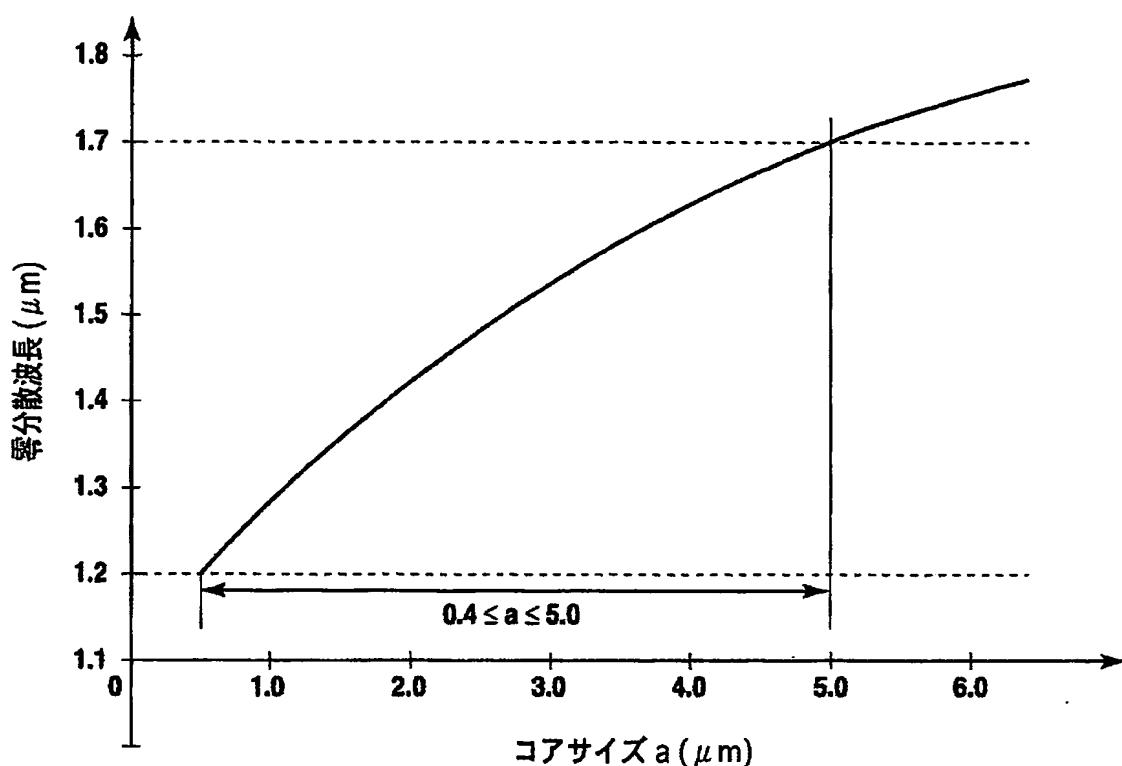
【図28】



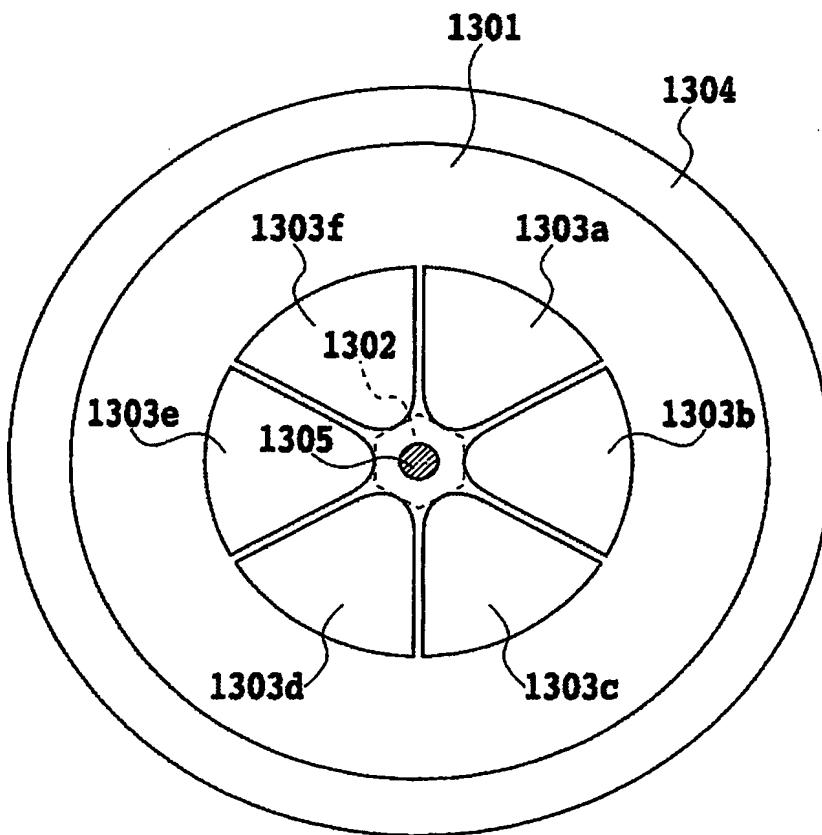
【図29】



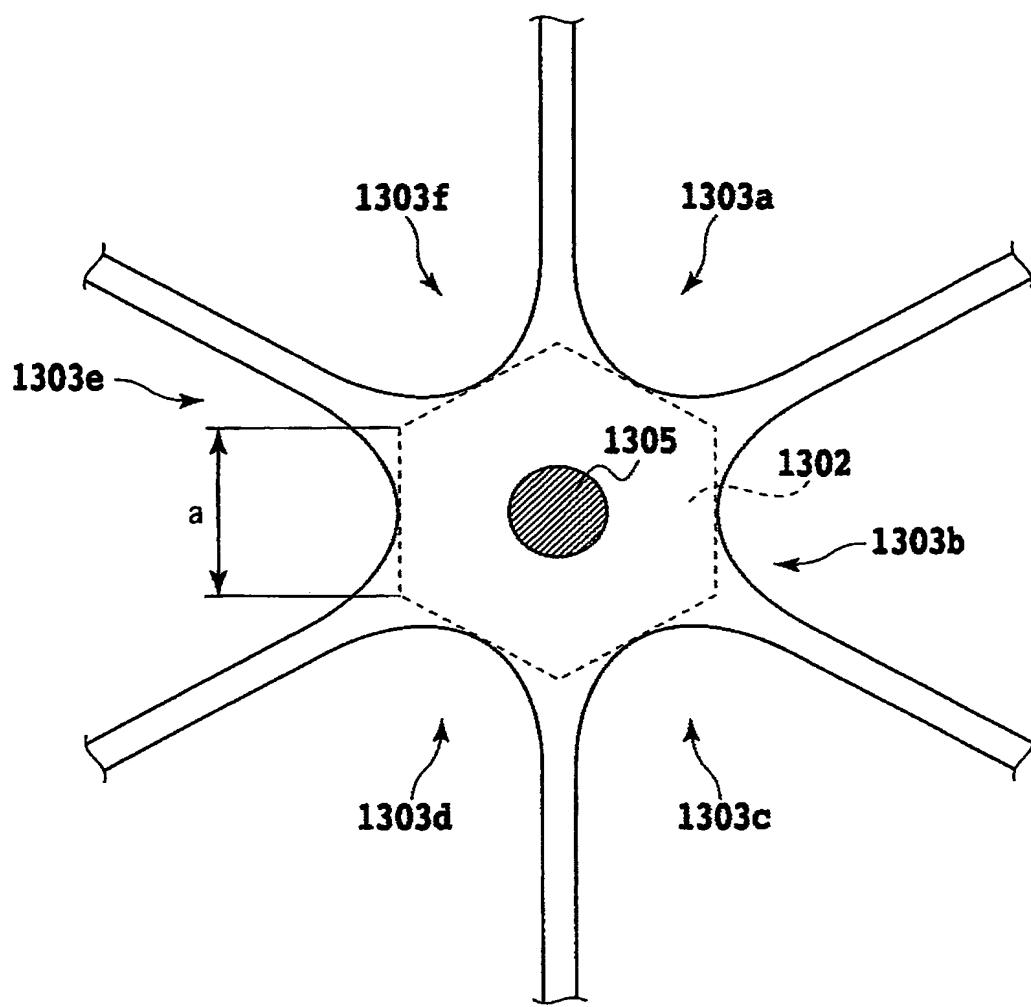
【図30】



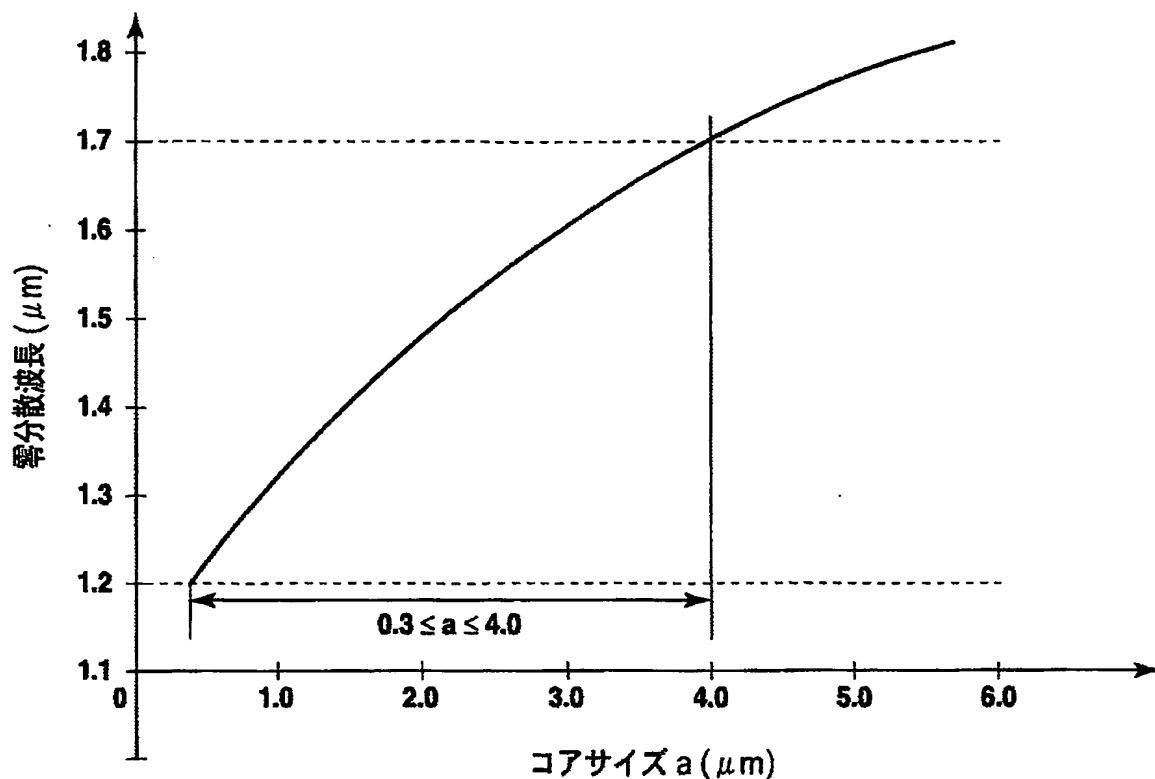
【図31】



【図32】



【図33】



【書類名】要約書

【要約】

【課題】 テルライトガラス製光ファイバの零分散波長を、通信波長帯である $1.2 \mu m$ ~ $1.7 \mu m$ に制御する。

【解決手段】 テルライトガラスからなる光ファイバにおいて、コアとなる領域102の周囲に複数の空孔103a~103dを設けたクラッドを有し、コア102の外径と、空孔103の内径と、空孔103の間隔とを調整することにより、零波長分散を $1.2 \mu m$ ~ $1.7 \mu m$ 帯に設定する。

【選択図】 図1

特願 2004-207728

出願人履歴情報

識別番号 [000004226]

1. 変更年月日 1999年 7月15日

[変更理由] 住所変更

住所 東京都千代田区大手町二丁目3番1号
氏名 日本電信電話株式会社